

UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**CHOVÁNÍ TKANINY PŘI OBECNÉM
BIAXIÁLNÍM NAMÁHÁNÍ**

**BEHAVIOUR OF FABRIC UNDER GENERAL
BIAXIAL STRESS**

KŘIŠŤANOVÁ JANA

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Obor: 31 - 26 – 8 textilní technologie

**CHOVÁNÍ TKANINY PŘI OBECNÉM
BIAXIÁLNÍM NAMÁHÁNÍ**

**BEHAVIOUR OF FABRIC UNDER GENERAL
BIAXIAL STRESS**

KME – 111

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslava Richterová
Konzultant: Prof. RNDr. Bohuslav Stříž, DrSc.**

Rozsah práce a příloh:

- počet stran: 61
- počet obrázků: 26
- počet tabulek: 15
- počet grafů: 10
- počet příloh: 10

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá chováním tkaniny při biaxiálním namáhání v obecném směru pro vazbu plátnovou.

Teoretická část je zaměřena na popis vzniku tkaniny, jejích parametrů, chování tkaniny a popis mechanických vlastností.

Pro experiment byly použity vzorky ve vazbě plátnové, které byly namáhány zatěžující silou pod různými úhly. Aby bylo možné provést srovnání s uniaxiálním namáháním, zatěžovali se také vzorky ve směru osnovy a útku. Změny byly zaznamenány digitálním fotoaparátem, dále upravovány a zpracovávány pomocí programu MATLAB.

Cílem této diplomové práce je ověřit jak se chová tkanina, jeli biaxiálně namáhána v jiných dvou na sebe kolmých směrech než po osnově a útku. Aby bylo možné provést srovnání, bylo provedeno také biaxiální zatěžování ve směru osnovy a útku.

Abstract:

This diploma work is concerned with the behaviour of fabric under biaxial stress in the general direction for the plain weave.

The theoretical part is engaged with the description of the fabric formation, its parameters, the behaviour of the fabric and the description of its mechanical characteristics.

For the experiment, samples in plain weave have been employed, stressing them with the loading force under various angles. To allow for the comparison with the uniaxial stressing, the samples have also been loaded in the direction of the warp and of the weft. The changes have been recorded with a digital camera, and next, adapted and processed by means of the program MATLAB.

The aim of this diploma work has been to verify the behaviour of the fabric if stressed biaxially in other two mutually perpendicular directions than those of the warp and the weft. For the purpose of the comparison, biaxial loading has been effected in the direction of the warp and the weft as well.

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně
s použitím uvedené literatury.“

.....

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Teoretická část | 9 |
| 2.1 Tkanina | 9 |
| 2.1.1 <i>Tvorba tkaniny</i> | 9 |
| 2.1.2 <i>Základní tkalcovské vazby</i> | 11 |
| 2.1.3 <i>Struktura tkaniny</i> | 13 |
| 2.2 Vlastnosti příze | 16 |
| 2.2.1 <i>Parametry příze</i> | 16 |
| 2.3. Mechanické vlastnosti tkanin | 20 |
| 2.3.1 <i>Vlastnosti tkanin při jednoosém namáhání</i> | 21 |
| 2.3.2 <i>Vlastnosti tkanin při dvouosém namáhání</i> | 23 |
| 2.4 Mechanika kontinua | 24 |
| 2.4.1 <i>Rozdělení a určení typů anizotropie</i> | 29 |
| 2.4.2 <i>Anizotropie textilií</i> | 30 |
| 3. Experimentální část | 33 |
| 3.1.1 Základní parametry tkaniny | 33 |
| 3.2 Tkalcovský stav | 34 |
| 3.3 Příprava vzorků | 34 |
| 3.4 Přípravek pro biaxiální zatěžování | 35 |
| 3.5 Zatěžování vzorků | 35 |
| 3.6 Zpracování snímaných obrázků | 37 |
| 3.7 Vyhodnocení naměřených hodnot | 42 |
| 3.7.1 <i>Grafy Poissonových čísel pro jednotlivá měření vzorků různých úhlů</i> | 49 |
| 3.7.2 <i>Změna úhlu polohy hlavní osy symetrie</i> | 55 |
| 3.7.3 <i>Ostatní výsledné hodnoty</i> | 56 |
| 4. Závěr | 57 |
| 5. Použitá literatura | 59 |
| 6. Použité zkratky | 60 |

1. Úvod

Z hlediska historie má textilní průmysl v naší zemi dlouholetou tradici. Vznikaly zde textilní manufaktury od konce 17. století.

Textilní a oděvní průmysl je tvořen dlouhým výrobním řetězcem, na jehož začátku je textilní vlákno a na konci prostorová textilie. Jedním z mezičlánků tohoto řetězce je také tvorba tkaniny.

Výroba tkanin vznikla z pletení rohoží, kde osnova byla zavěšena svisle a dole zatížena závažím. Útek se proplétal osnovou pomocí člunku, později se začali používat tyče, které rozdělily osnovu a tím vytvořily prostor pro člunek – prošlup. K výraznému vývoji tkalcovského stavu došlo až v 18. století, kdy byl vynalezen tzv. „létající“ člunek, který se prohazoval pomocí jednoduchého mechanismu. Teprve koncem 19. století byly stavy vybavovány dalšími prvky jako například automatickou výměnou útkových cívek, osnovními zarážkami, samočinným regulátorem k popouštění osnovy. Ve snaze zvýšit tkací rychlost byly vymyšleny jiné způsoby zanášení útku, jelikož velká hmotnost člunku omezovala tkací rychlost. Tyto stavy jsou nazývány bezčlunkové. Koncem 19. století byl sestrojen jehlový stav a počátkem 20. století stav skřipcový. Dále následovali stroje se zanášením útku pomocí proudu vzduchu nebo vody. Největší rozvoj tkalcovských stavů byl zaznamenán v 50. letech 20. století, což se projevilo jak na vzhledu, tak na jakosti tkanin. [1]

V současnosti se postup vývoje a výzkumu jednotlivých technologií a prvků tkacích strojů představuje na mezinárodní výstavě textilních strojů ITMA. Tato výstava se konala naposledy v roce 2003 v Birminghamu.

Tkanina je plošná textilie tvořená dvěma navzájem kolmými a různě provázanými soustavami nití - osnovou a útkem. Tato práce se zabývá pouze nejjednodušší vazbou a to plátňovou s čtvercovou střídou. Je sledováno chování tkaniny při namáhání ve dvou na sebe kolmých směrech, různě odchýlených od směru osnovy a útku. Cílem bylo zjistit, jaké budou mechanické charakteristiky tkaniny, pokud bude biaxiálně namáhána pod různými úhly.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Tkanina

Tkaní je proces, při kterém vzniká plošná textilie z dvou navzájem kolmých soustav nití délkových textilií vzájemným provázáním. Tomuto provázání se říká vazba tkaniny.

Osnovou je nazývána soustava nití rovnoběžná s pevným krajem tkaniny, útek je uložen kolmo na osnovu. Každé překřížení nitě osnovní a útkové je nazýváno vazným bodem. Podle druhu nitě provazující ve vazném bodě nahoře jsou rozlišovány vazní body osnovní a útkové.

Vlastnosti tkaniny jsou ovlivněny jak tkacím procesem, tak strukturou tkaniny. Struktura tkaniny je definovaná použitým materiálem v přízi, vazbou, dostavou osnovních a útkových nití a jejich jemností. Plošná geometrie tkaniny je určena silami, které působí v jednotlivých soustavách nití.

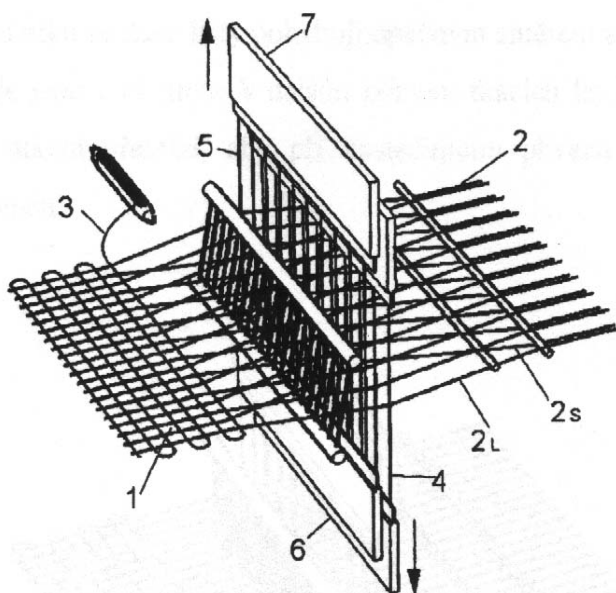
Síly působící ve směru osnovních nití jsou způsobeny podáváním osnovy, odtahem tkaniny a příraznou silou. U klasického způsobu tkaní jsou způsobeny síly ve směru útku rozpinkami. Vlivem těchto sil dochází k různému geometrickému uspořádání nití ve tkanině.

2.1.1 Tvorba tkaniny

Osnovní niti jsou uloženy na osnovním vále a navedené na příslušných místech tkacího stavu rovnoběžně vedle sebe v plném počtu a plně šíří. Útkové niti se vkládají do osnovy postupně, vždy po jedné niti během jednoho pracovního cyklu stroje.

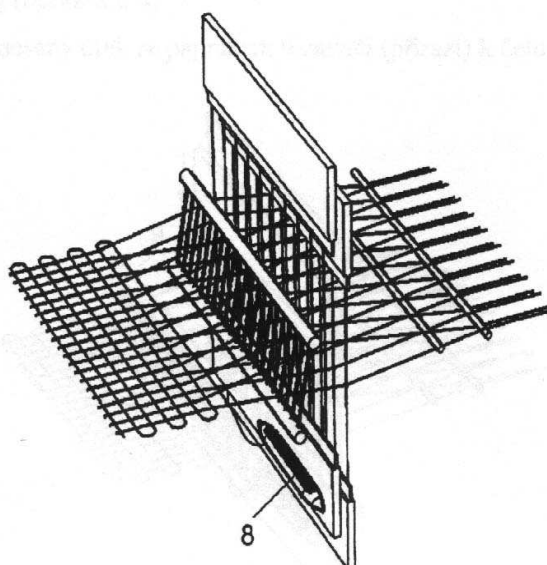
Tkací cyklus se skládá ze čtyř základních fází:

I. fáze: Otevření prošlupu (obrázek 1) – Každá osnovní nit 2 je navedena do jedné nitěnky 4 (5). skupina nitěnek je navedena v rámu a celek tvoří tkací list 6, popřípadě 7. Pro nejjednodušší plátnovou vazbu tkaniny 1 jsou nutné minimálně dva tkací listy. Všechny liché osnovní niti jsou navedeny do nitěnek 4 tkacího listu 6 a všechny sudé osnovní niti jsou navedeny do nitěnek 5 tkacího listu 7. Pohybem tkacích listů v naznačeném směru se tvoří v osnově klínový prostor, tzv. **prošlup**, do kterého se ve druhé fázi zanáší útek 3.



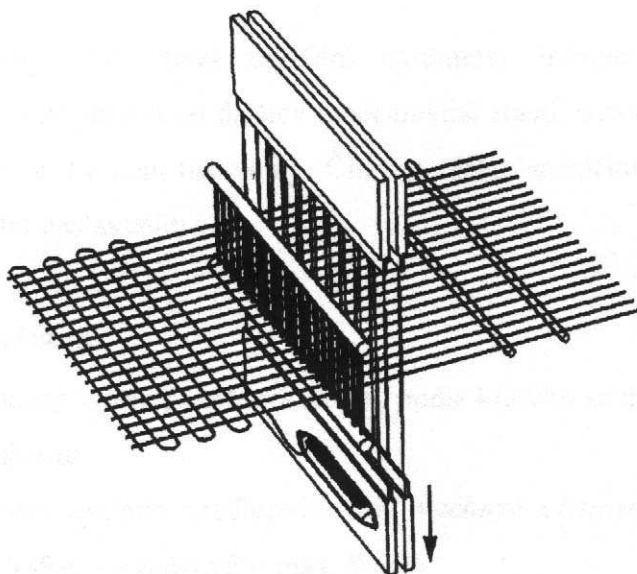
Obr. 1 I. fáze - otevření prošlupu -

II. fáze: Zanesení útku (obrázek 2) – Do prošlupu se pomocí zanašeče 8 (člunek, skřípec, jehla nebo proud vody, nebo vzduchu) do celé šířky osnovy vloží útková nit.



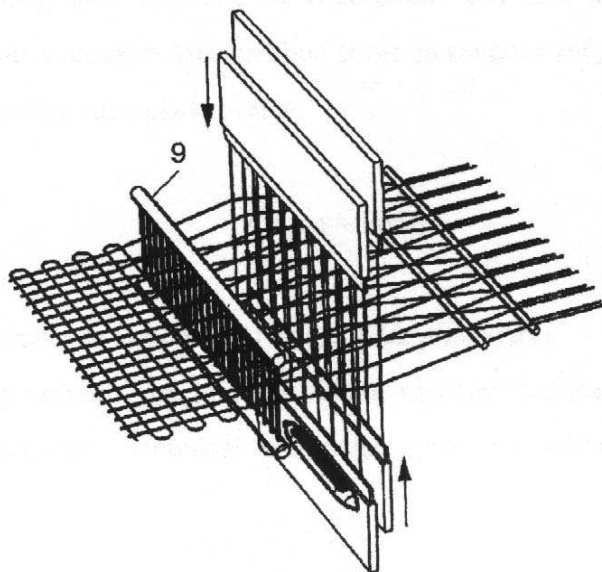
Obr. 2 II. fáze - zanesení útku

III. fáze: Zavření prošlupu (obrázek 3) – Po zanesení útku se tkací listy pohybují opačným směrem a procházejí základní polohou, kde jsou v zástupu. V dalším pohybu tkacích listů se osnovní niti za zaneseným útkem překříží, aby mohl být útek ve tkanině upevněn.



Obr. 3 III. fáze - zavření prošlupu

IV. fáze: Příraz útku (obrázek 4) – Útek, který byl zanesen do prošlupu se paprskem 9 přirazí k čelu tkaniny.



Obr. 4 IV fáze – příraz útku

2.1.2 Základní tkalcovské vazby

Tkalcovskou vazbou je nazýván způsob provázání nití ve tkanině. Vazby je možné rozdělit do několika skupin podle různých hledisek:

- podle zastoupení vazných bodů osnovních a útkových ve střídě vazby:
 - osnovní vazby
 - útkové vazby
 - oboustranné vazby

- podle použitého druhu brda:
 - listové
 - žakárské

- podle počtu soustav nití:
 - jednoduché
 - víceútkové
 - víceosnovní
 - vícenásobné

- podle způsobu provázání:
 - základní vazby
 - odvozené vazby
 - vazební techniky

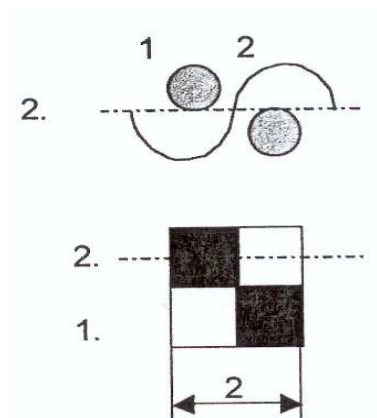
- podle prošlupního zařízení:
 - váčkové prošlupní zařízení (malé vzory)
 - listové prošlupní zařízení (středně velké vzory)
 - žakárské prošlupní zařízení (bohaté vzorování)

- podle barevnosti:
 - jednobarevné - hladké
 - pestře snované
 - pestře házené (barevná záměna útku)
 - pestře tkané

Jelikož je tato diplomová práce zaměřena pouze na vzorky ve vazbě plátnové, následuje popis pouze této jedné vazby.

Plátnová vazba

Tato vazba je nejjednodušším a nejpoužívanějším druhem tkalcovské vazby. Mezi osnovními nitěmi a útky je maximální překřížení. Je to oboustranná vazba. Střída vazby je složena ze dvou nití osnovních a dvou nití útkových.



[1]

Obr. 5 Příčný řez plátnovou vazbou a střída této vazby

2.1.3 Struktura tkaniny

Struktura tkaniny je definovaná zpravidla vazbou, materiálem, dostavou a jemností použité příze. Tyto údaje určují tzv. geometrii tkaniny. Prostorová geometrie tkaniny je také ovlivněna typem a seřízením tkacího stroje. Při porovnání dvou tkanin stejné konstrukce (dostava, materiál, jemnost nití) vytvořených za různých podmínek nebo na různých strojích může být prostorové strukturální provázání různé.

Některé vlastnosti daného textilního útvaru jsou velkou měrou určeny vlastnostmi nejbližšího nižšího útvaru, v tomto případě vlastnostmi příze.

Dostava tkaniny

Dostavou tkaniny rozumíme počet nití na určitou délku. Rozlišuje se dostava osnovních nití D_o a dostava nití útkových D_u , nejčastěji se určuje na 10 cm. Hustota tkaniny je různá a závisí na druhu a účelu použití tkaniny, jemnosti nitě, vazební technice, zušlechtění tkaniny atd.

[3]

Plošná hmotnost tkaniny

Tento parametr určuje hmotnost 1m^2 tkaniny. Lze ho zjistit vážením, nebo výpočtem podle vzorce:

$$G = D_o \frac{T_o}{1000} \frac{1}{1-s_o} + D_u \frac{T_u}{1000} \frac{1}{1-s_u} [g/m^2] \quad (1)$$

Kde: $G[g/m^2]$plošná hmotnost tkaniny

$D_{o,u} [0,1/m]$dostava osnovy, útku

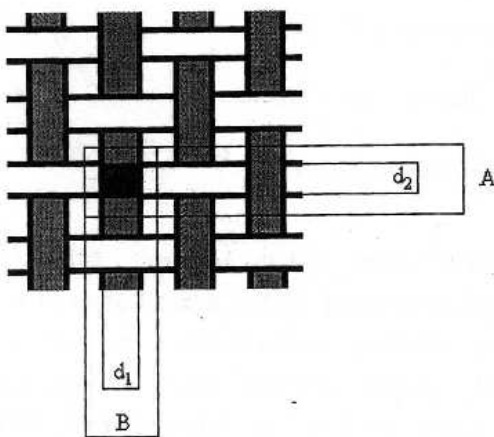
$T_{o,u} [\text{tex}]$jemnost osnovy

s_o, s_usetkání osnovy, útku

Zakrytí tkaniny

Zaplnění tkaniny je jedním z parametrů popisujících prostorovou geometrii tkaniny. Pod pojmem dvourozměrné kvality zaplnění rozumíme její zakrytí. [3]

Nejvýstižnější činitel krytí vychází z půdorysné plochy nití v tzv. vazné buňce tkaniny. Vaznou buňkou tkaniny nazýváme okolí jednoho zakřížení osnovní a útkové nití. Plocha vazné buňky je zčásti kryta osnovní a útkovou nití. Rozeznáváme krytí jednou nebo druhou soustavou nití a celkové krytí. Stupeň zakrytí nikdy nepřekračuje hodnotu 1 (nebo 100%).



Obr. 6 Model vazné buňky v plátnové vazbě

Rozměry vazné buňky:

$$A = \frac{1}{D_2} \dots\dots\dots \text{rozestup útkových nití (hloubka buňky)} \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{D_1} \dots\dots\dots \text{rozestup osnovních nití (šířka buňky)} \quad (3)$$

$$D_1, D_2 \dots\dots\dots \begin{array}{l} \text{dostavy osnovy (ve směru osy x) a útku (ve směru osy y)} \\ \text{v počtu nití na 100 mm} \end{array}$$

Stupeň zakrytí tkaniny (vyjádření pro jedno zakřížení v plátnové vazbě):

$$K_1 = \frac{d_1 * A}{A * B} = \frac{d_1}{B} \dots\dots\dots \begin{array}{l} \text{stupeň zakrytí osnovou (poměr plochy} \\ \text{osnovní nití ku ploše vazné buňky)} \end{array} \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{d_2 * B}{A * B} = \frac{d_2}{A} \dots\dots\dots \begin{array}{l} \text{stupeň zakrytí útkem (poměr plochy útkové nití} \\ \text{ku ploše vazné buňky)} \end{array} \quad (5)$$

$$K = \frac{d_1 A + d_2 B - d_1 d_2}{A * B} = K_1 + K_2 - K_1 K_2 \dots\dots\dots \begin{array}{l} \text{celkový stupeň zakrytí tkaniny} \\ \text{(poměr viditelné půdorysné} \\ \text{plochy nití ku ploše vazné} \\ \text{buňky)} \end{array} \quad (6)$$

Takto definovaný výpočet zakrytí v plátnovém provázání vychází ze zjednodušeného plošného modelu, jenž není dokonalým popisem reálné struktury tkaniny. Teoretické 100%-ní krytí nelze tedy automaticky spojovat s maximálně dosaženou hustotou tkaniny. Hustota tkaniny je hodnota závislá na geometrii provázání tkaniny. [3]

2.2 Vlastnosti příze

Druh příze je možné dále rozlišovat na česané, mykané, jednoduché, skané, rozlišuje se také zákrut pravý (Z) a levý (S). Z hlediska zpracovatelnosti je možné rozlišovat vlastnosti geometrické (jemnost, délka...), mechanické (pevnost, tažnost...), fyzikální (hmotnost, sráživost...), dalšími vlastnostmi jsou dále chemické, optické, tepelné, zpracovatelské vlastnosti apod.

Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná nejčastěji zákrutem. Každý druh příze má své specifické vlastnosti, které jsou z velké části dány vlastnostmi použitého vlákenného materiálu a technologickým postupem výroby příze.

Příze je při výrobě plošné textilie namáhána. Jedná se nejčastěji o kombinaci namáhání tahového, tlakového, ohybového, torzního apod. Dochází tedy k deformaci příze a tím změně její struktury,. Jedná se především o ohyb, stlačení, zploštění. Nejvýraznější je deformace v kontaktu dvou přízí - tedy ve vazném bodu v textili.

2.2.1 Parametry příze

Jemnost příze

Je také nazývána délkovou hmotností, vyjadřuje vztah mezi hmotností příze[g] a délkou příze[m]. Základní jednotkou jemnosti je 1 tex [g/km].

$$T = \frac{m_p}{L} [tex] \quad (7)$$

Průměr příze

Substanční průměr příze znamená, že je příze teoreticky stlačena na minimální limitní průměr tak, že vymizí vzduchové mezery mezi vlákny uvnitř příze.

$$d_{sub} = \sqrt{\frac{4 * T}{\pi * \rho_v}} [mm] \quad (8)$$

Příze ve tkanině ve většině případech nemá kruhový průřez, průměr příze se zatknáním mění. Mění se podle materiálu, zákrutu v přízi i podle typu vazby tkaniny. Může být definován několika způsoby:

1) Podle kruhového průřezu efektivního průměru jádra příze, jehož vlákna jsou stlačována silou odpovídající silám ve tkanině. Známe-li materiálové složení příze (jeho měrnou hmotnost), můžeme efektivní průměr příze definovat jako:

$$d = \frac{2 * \sqrt{T_t}}{10^3 * \sqrt{\pi \theta}} [\text{mm}] \quad (9)$$

Tento vzorec je odvozen ze základního vzorce pro výpočet jemnosti příze /tex/:

$$T = \frac{1}{4} \pi * d^2 * \rho * 10^6 [\text{tex}] \quad (10)$$

2) Průměr příze může být definován podle kruhového průřezu jádra příze ze substance vláken (bez vzduchu mezi vlákny dostaneme tzv. zaplnění substancí příze):

$$d = \frac{2}{\sqrt{\pi * \rho_{subst.} * 1000 \text{čm}}} [\text{mm}] \quad (11)$$

$$tex = \frac{1000}{\text{čm}} \quad (12)$$

Poměr skutečného průměru příze ku průměru substančnímu:

$$\left(\frac{d}{d_{subst}} \right)_{stř} = \frac{1}{\sqrt{rh}} = 1,38 \quad (13)$$

Zaplnění příze

Zaplnění příze vyjadřuje poměr ploch vláken ku celkové ploše příčného řezu přize.

$$\mu = \frac{S_v}{\frac{\pi * d^2}{4}} [1] \quad (14)$$

kde: μ [1].....zaplnění příze

S_v [mm²].....souhrnná plocha vláken

d [mm²].....průměr příze

Zaplnění je možné také definovat jako podíl celkového prostoru přize zaplněného objemem vláken (15), nebo též jako podíl celkových ploch útvaru zaplněného plochou vláken (16).

$$\mu = \frac{V}{V_c} [1] \quad (15)$$

kde: V [mm³].....objem vláken

V_c [mm³].....celkový objem útvaru

$$\mu = \frac{P}{P_c} [1] \quad (16)$$

kde: P [mm²].....souhrnná plocha řezných plošek jednotlivých vláken

P_c [mm²].....celková plocha řezu útvaru

Zákrut příze

Zákrutem přize je považováno zakroucení vláken ve směru šroubovice okolo osy přize. Zákrut je vyjádřen počtem otáček na jednotku délky.

Funkcí zákrutu je udržet vlákenný útvar pohromadě a zpevnit výslednou přízi. Je tedy velmi důležitý pro výsledné mechanické vlastnosti, jako je pevnost, tažnost, pružnost, ohebnost. Se zvyšujícím se počtem zákrutů udělených přízi se zmenšují vzduchové mezery mezi vlákny a vznikají třecí síly mezi nimi. Dále se zvyšuje měrná hmotnost přize. Existuje však hranice počtu zákrutů na jednotku délky, kdy jsou vlastnosti

optimální. Při překročení této hranice by došlo ke snížení požadovaných mechanických vlastností. Zákrut lze vyjádřit vzorci:

$$z = \frac{n}{v} [m^{-1}] \quad (17)$$

kde: $n [min^{-1}]$počet otáček krutného orgánu (vřetene, křídla...)

$v [m/min]$obvodová rychlost podávacího ústrojí

Aby byla dodržena intenzita zákrutu kroucení přízí různých jemností se využívá koeficient zákrutu α , nejčastěji je definován pomocí Kochlinovy hypotézy. Je vyjádřen ve vztahu:

$$Z = \frac{\alpha * 31,6}{\sqrt{T}} [m^{-1}] \quad (18)$$

kde: $Z [m^{-1}]$zákrut příze

$\alpha [ktex^{1/2} m^{-1}]$zákrutový koeficient

$T [tex]$jemnost příze

Výpočet v jednotkách tex podle Phrixe:

$$Z = \frac{10^2 * \alpha_p}{\sqrt[3]{T t^2}} \quad (19)$$

kde: $Z [m^{-1}]$zákrut příze

$T [tex]$jemnost příze

$\alpha_p [ktex^{2/3} m^{-1}]$součinitel zákrutu

2.3 Mechanické vlastnosti tkanin

Mechanické vlastnosti plošných textilií ovlivňuje uspořádání nití, jejich vzájemné provázání a hustota textilie. Textilie vykazují v různých směrech různé mechanické vlastnosti.

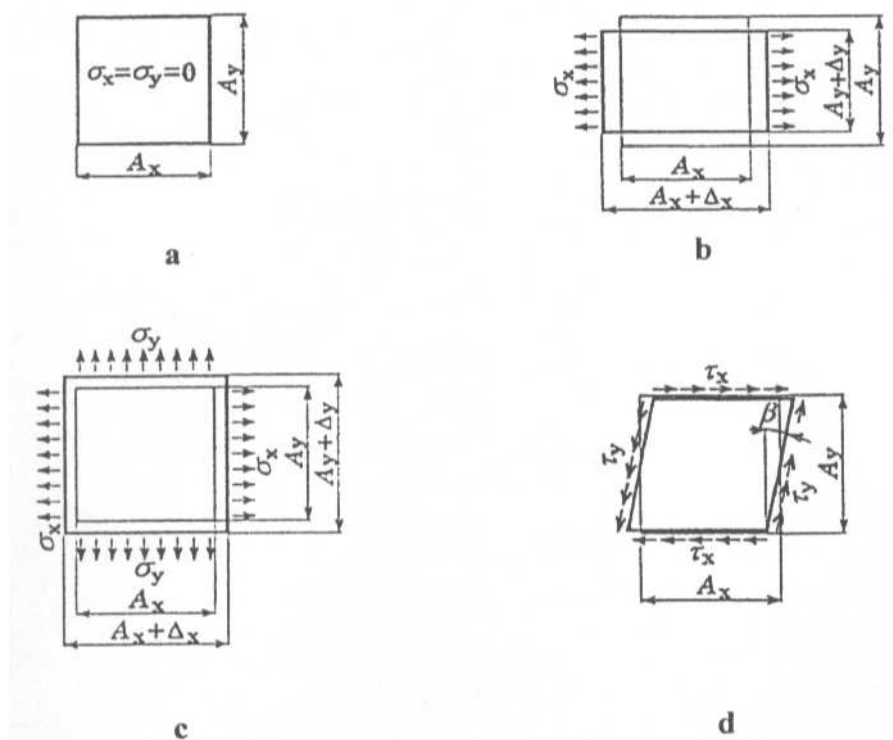
Mechanické vlastnosti těles popisují jejich deformaci při působení vnějších mechanických sil. Vlivem působící síly dochází k deformaci tělesa, tj. tvarovým a rozměrovým změnám. Charakteristikou odporu materiálu proti deformaci je tzv. *modul*. Tento modul je definován jako poměr síly působící na materiál ku vzniklé deformaci. Čím vyšší modul je, tím je potřebná větší síla k vytvoření deformace.

Při tahovém zatížení dochází ke vzniku vnitřních silových účinků, vyvolaných vzájemným třením vláken v jednotlivých nitech, dále potom třením jednotlivých nití osnovních a útkových navzájem.

Pokud nastane deformace v jednom směru, jedná se o uniaxiální namáhání materiálu. Jeden rozměr vzorku se protahuje a druhý zkracuje. Tato deformace je znázorněna na obrázku 7b. Při tomto namáhání se rozestup přízí uložených v tkanině ve směru namáhání zmenšuje a rozestup přízí uložených kolmo na směr namáhání zvětšuje.

Při biaxiálním namáhání vzorku textilie se působí napětím ve dvou na sebe kolmých směrech a to ve směru osnovy a útku. V tomto případě dochází k protažení v obou směrech, viz na obrázku 7c.

Při zatěžování vzorku v obecném směru, tj. různém od osnovy a útku dochází k smykovému napětí a tím ke zkosení textilie, které je na obrázku 7d.



Obr. 7 Formy rovinného namáhání.

2.3.1 Vlastnosti tkanin při jednoosém namáhání

Mezi základní mechanické vlastnosti jsou řazeny pevnost a tažnost. Pevnost materiálu je definovaná jako největší maximální síla, potřebná k destrukci namáhaného vzorku (vlákno, příze textile). Tažnost je vyjádřena přírůstkem délky při určitém zatížení v procentech původní délky. Jednoosé namáhání se realizuje na trhacím stroji.

Pevnost:

Pevnost při přetržení je definována jako maximální síla potřebná k přetržení textile. Je závislá především na počtu nití přenášejících napětí a také na jejich pevnosti.

Tažnost:

Tažnost odpovídá poměrnému prodloužení v okamžiku porušení textile. U ideální tkaniny, která má pro oba hlavní směry stejné a konstantní parametry se přetrhnou jenom nitě jedné soustavy. Výjimkou je namáhání ve směru pod úhlem 45° od směru

osnovy a útku. Při zatěžování pod velmi malým úhlem (do 15°) je druhá soustava nití zatížená a protažená velmi málo.

Tkaniny jsou z hlediska tahové deformace anizotropní. Běžné tkaniny jsou tažnější v diagonálním směru, než ve směru osnovy a útku. Pro diagonální směr vychází menší pevnost, nežli odpovídá počtu a pevnosti nití, což může mít za následek i změnu tažnosti. Při diagonálním namáhání tkaniny dochází dále k větší příčné kontrakci a tím k větší pravděpodobnosti přetrhu v čelistech. [5]

Modul pružnosti v tahu:

Je určen z Hookova zákona. Je to poměr napětí ku poměrnému prodloužení.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [Pa] \quad (20)$$

Kde: $\sigma [N/m^2]$napětí

$\varepsilon [1]$je poměrné prodloužení.

Poměrné prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{\delta_l}{l_0} [1] \quad (21)$$

kde: $\delta_l [m]$prodloužení vzorku

$l_0 [m]$upínací délka vzorku.

Poissonovo číslo

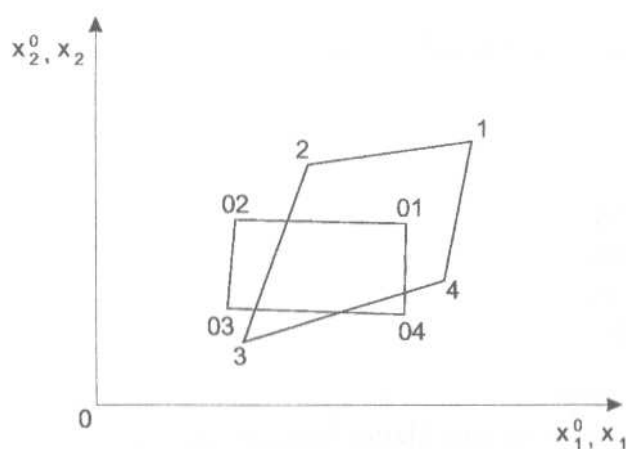
Poissonovo číslo je převrácená hodnota Poissonovy konstanty, pro každý materiál má jinou hodnotu. Udává poměr mezi příčným zkrácením a podélným prodloužením při tahové deformaci.

2.3.2 Vlastnosti tkanin při dvouosém namáhání

Popis vlastností tkanin biaxiálně namáhaných je možný pouze při určité idealizaci. Jednou z nejrozšířenějších metod řešení problémů mechaniky textilií je náhrada textilního útvaru spojitým prostředím – kontinuem se stejnými mechanickými vlastnostmi jako zkoumaná textilie. [6]

Deformace tkaniny při biaxiálním namáhání se nejčastěji určuje stanovením posuvů jednotlivých částic a přetvoření v bezprostředním okolí částic. Na přípravku pro biaxiální zatěžování se proměří posuv čtyř vyznačených bodů na textilií při zatěžování. Na základě vazeb mezi počáteční a okamžitou polohou bodu jsou vypočteny materiálové gradienty posuvů. Velikost deformace se určuje posuvem bodů vztaženým k celkovému rozměru tělesa- obr.8, 9. Deformace je nazývána poměrnou, je bezrozměrná.

[7]



Obr. 8 Posuvy bodů vrcholů elementu

2.4 Mechanika kontinua

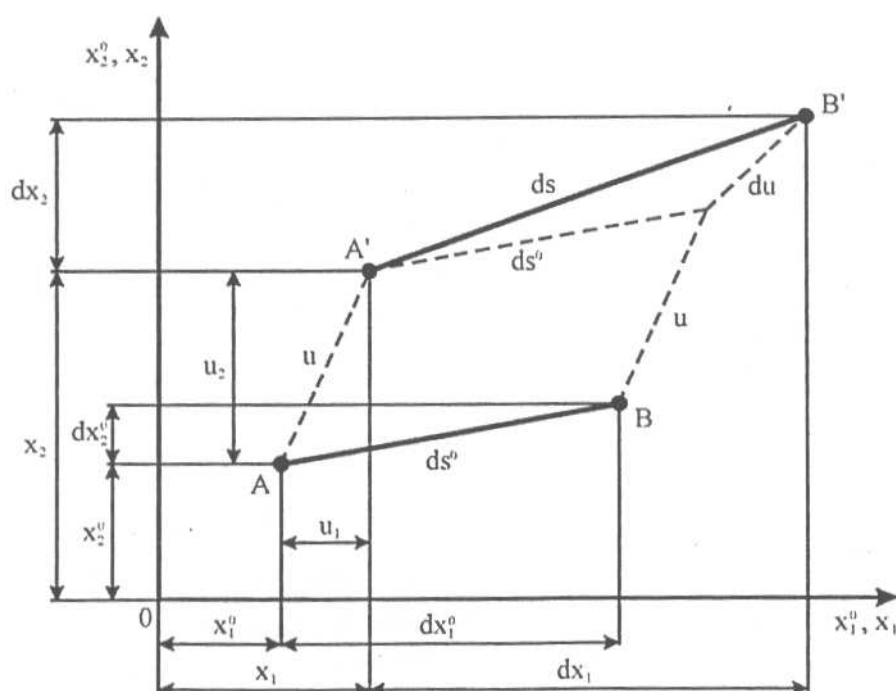
Tato teorie je založena, jak již bylo zmíněno, na posuvu stanovených bodů a jejich přetvoření, včetně jejich bezprostředního okolí. Deformace popisuje změnu velikosti a tvaru, bez ohledu na zvolené soustavě, jejím pohybu jako celku.

Textilie, která má výraznou strukturu je zaměněna kontinuem se stejnými mechanickými vlastnostmi. Je tedy možné pomocí rovnic mechaniky kontinua definovat základní mechanické vlastnosti textilie. Závislost mezi Eulerovými a Lagrangeovými souřadnicemi bodů je stanovena ze změřených posuvů sledovaných bodů (např: posunutí bodu A do A' na obr. 8 vlivem silových účinků na kontinuum) vztahem:

$$x_i^p = x_i^{op} + u_i^p, i = 1, 2 \quad (22)$$

kde: p.....číslo bodu

o.....označení Lagrangeovy souřadnice



Obr. 9 Přetvoření kontinua v rovině

Materiálový deformační gradient F je možné určit, pokud zaměníme derivace diferencemi, získanými rozdíly souřadnic koncových bodů úhlopříček nepravidelného elementu, řešením rovnic:

$$\Delta x_{ir} = \Delta x_{ir}^o + u_{i;r} \Delta x_{jr}^o; i, j, r = 1, 2 \quad (23)$$

kde:

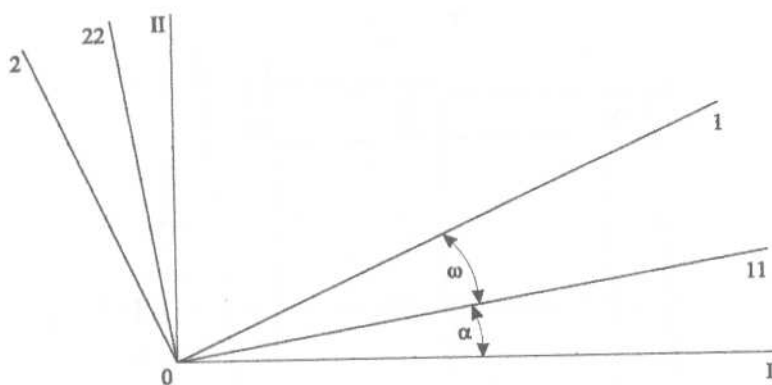
$$\begin{aligned} \Delta x_{i1} &= x_i^1 - x_i^3 & \Delta x_{i2} &= x_i^2 - x_i^4 \\ \Delta x_{i1}^o &= x_i^{o1} - x_i^{o3} & \Delta x_{i2}^o &= x_i^{o2} - x_i^{o4} \end{aligned} \quad (24)$$

Řešením těchto rovnic vyjde :

$$F = \begin{pmatrix} 1 + u_{1,1} & u_{1,2} \\ u_{2,1} & 1 + u_{2,2} \end{pmatrix} \quad (25)$$

Použijeme definici poměrné síly $[\text{Nm}^{-1}]$ působící v ploše textilie. Tímto postupem není třeba uvažovat fiktivní tloušťku textilie a přecházíme od tenzorů v prostorů k tenzorům na ploše. Čtvercová matice třetího stupně se transformuje na čtvercovou matici druhého stupně, takovou i deformační tenzor F .

Zvolíme souřadný systém a označíme jej 11, 22, ten odpovídá indexům v materiálovém deformačním gradientu F . Aby bylo možné určit moduly pružnosti, musíme znát typ anizotropii zatěžovaného materiálu. Závisí nejen na struktuře, ale i na tahovém zatížení orientovaném vzhledem ke struktuře textilie o úhel α (obr.10). [9]



Obr. 10 Znázornění os zatěžování materiálu

Anizotropii nelze určit ze změřených posuvů, ale je třeba stanovit polohu osy symetrie z podmínky nulové smykové síly na této ose.

Zavedeme úhel ω , který svírá osa symetrie a anizotropie s osou zatěžování 11. [8]

Zavedeme-li pro Cauchyho tenzor skutečných poměrných sil označení:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} \end{pmatrix} \quad (26)$$

kde složky σ_{11} , σ_{22} určíme z podmínek rovnováhy přetvořeného elementu a ze známých hodnot zatěžujících sil. Složku σ_{12} tenzoru stanovíme ze vztahu pro smykovou sílu na ose symetrie anizotropie.

$$0 = -\frac{1}{2} \cdot (\sigma_{11} - \sigma_{22}) \sin 2\omega + \sigma_{12} \cdot \cos 2\omega$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{11} - \sigma_{22}) \cdot \operatorname{tg} 2\omega \quad (27)$$

Míry deformace a napětí jsou rozdílné, proto je nutné zvolit vhodnou kombinaci párů tenzorů deformace napětí. V tomto případě jsme zvolili konjugovanou dvojici Biotův symetrický tenzor napětí S_B a tenzor protažení Δ :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(F^{-1} \cdot J \cdot \Sigma \cdot R + R^T \cdot J \cdot \Sigma \cdot (F^{-1})^T \right) \Leftrightarrow (\Delta - I) \quad (28)$$

1) Biotův tenzor poměrných sil značíme:

$$S_B = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \quad (29)$$

kde c_{ij} jsou složky Biotova tenzoru.

Závislost mezi Biotovým tenzorem poměrných sil (29) a Cauchyho tenzorem (26) je vyjádřena závislostí:

$$S_B = \frac{1}{2} \cdot \left(F^{-1} \cdot \sum \cdot R + R^T \cdot \sum \cdot (F^{-1})^T \right) \quad (30)$$

kde R je tenzor rotace.

2) Tenzor protažení:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} \end{pmatrix} \quad (31)$$

$$\Delta = \sqrt{F^T \cdot F} \quad (32)$$

Tenzor rotace:

$$R = F \cdot \Delta^{-1} \quad (33)$$

Budeme-li uvažovat lineární závislost mezi složkami Biotova tenzoru poměrných sil a tenzoru deformace (Δ -I), potom se rovinná napjatost, ve které se textilie nachází popisuje tenzorem poměrných modulů:

$$\bar{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & \bar{E}_{14} \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{22} & \bar{E}_{24} \\ \bar{E}_{14} & \bar{E}_{24} & \bar{E}_4 \end{pmatrix} \quad (34)$$

kde: $\bar{E}_{22}, \bar{E}_{12}, \dots$ moduly rovinné napjatosti ve směrech x_1, x_2

$\bar{E}_4 \dots$ modul pružnosti ve smyku (stejný pro rovinnou napjatost i rovinné přetvoření)

moduly vztažené k rovinné napjatosti jsou označeny pruhem.

Vyjádření Hookova zákona k osám zatěžování:

$$\begin{pmatrix} c_{11} \\ c_{22} \\ c_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & \bar{E}_{14} \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{22} & \bar{E}_{24} \\ \bar{E}_{14} & \bar{E}_{24} & \bar{E}_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{pmatrix} \quad (35)$$

ve složkách dostaneme:

$$\bar{E}_{11} \cdot \varepsilon_{11} + \bar{E}_{12} \cdot \varepsilon_{22} + 2 \cdot \bar{E}_{14} \cdot \varepsilon_{12} = c_{11} \quad (36)$$

$$\bar{E}_{12} \cdot \varepsilon_{11} + \bar{E}_{22} \cdot \varepsilon_{22} + 2 \cdot \bar{E}_4 \varepsilon_{12} = c_{22} \quad (37)$$

$$\bar{E}_{11} \cdot \varepsilon_{11} + \bar{E}_{24} \cdot \varepsilon_{22} + 2 \cdot \bar{E} \cdot \varepsilon_{12} = c_{12} \quad (38)$$

Zobecněné Poissonovo číslo je geometrickou střední hodnotou Poissonových čísel ν_{12} ν_{21} , která je menší, nebo rovna aritmetické střední hodnotě. Určuje prostřednictvím vztahu:

$$\nu = \sqrt{\nu_{12} \cdot \nu_{21}} \quad (39)$$

kde ν_{12} ν_{21} jsou Poissonova čísla určená jednoosými napjatostmi vzorku plošné textilie ve směrech 11, 22.

$$\nu_{12} = -\frac{\Delta_1^2}{\Delta_2^2} \quad (40)$$

$$\nu_{21} = -\frac{\Delta_2^1}{\Delta_1^1} \quad (41)$$

kde je značeno zúžení ve směru 11 při roztahování vzorku ve směru 22: Δ_1^2 , resp. Δ_2^2 ; zúžení ve směru 22 při roztahování ve směru 11: Δ_2^1 , resp. Δ_1^1 .

Zobecnělé Poissonovo číslo je geometrickou střední hodnotou Poissonových čísel ν_{12} ν_{21} , která je menší, nebo rovna aritmetické střední hodnotě. [9]

Moduly pružnosti \bar{E}_{ij} musejí splňovat tyto podmínky:

$$\bar{E}_{11} > 0, \bar{E}_{22} > 0, \bar{E}_4 > 0, |\bar{E}_{12}| < (\bar{E}_{11} \cdot \bar{E}_{22})^{1/2}, |\omega| < \pi/4 \quad (42)$$

Po dosazení modulu \bar{E}_{12} do Hookova zákona, dostaneme soustavu nelineárních rovnic.

Upravené nelineární rovnice vedou na řešení:

$$\bar{E}_{22} = \frac{v^2(c_{11}\epsilon_{11} - c_{22}\epsilon_{22}) + 2c_{22}\epsilon_{22} \pm v\sqrt{v^2(c_{11}\epsilon_{11} - c_{22}\epsilon_{22})^2 + 4c_{11}c_{22}\epsilon_{11}\epsilon_{22}}}{2\epsilon_{22}^2(1 - v^2)} \quad (43)$$

$$\bar{E}_{11} = \frac{(\bar{E}_{22}\epsilon_{22} - c_{22})^2}{\bar{E}_{22}v^2\epsilon_{11}^2} \quad (44)$$

Znaménko před odmocninou se volí tak, aby byly splněny podmínky (42). Smykový modul je určen z podmínky nezávislosti na směru:

$$\bar{E}_4 = \frac{1}{4}(\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12}) \quad (45)$$

2.4.1 Rozdělení a určení typů anizotropie

Pomocí Hookova zákona je možné popsat vlastnosti:

Izotropní – materiál vykazuje ve všech směrech stejné vlastnosti. V tomto případě je materiál určen jen dvěma pružnými moduly.

Anizotropní – v různých směrech se projevují různé vlastnosti. Pro tento materiál je obtížné určit různé vlastnosti materiálu.

2.4.2 Anizotropie textilií

Jelikož v tkanině jsou dva systémy nití, které se od sebe liší svými vlastnostmi (ošlichtovaná osnova, různá dostava), patří textilie mezi materiály anizotropní.

Anizotropie je to závislost mechanicko-fyzikálních vlastností materiálů ve směru působení namáhání. Anizotropie plošné textilie je ovlivněna jak podílem jednotlivých složek, tak jejich vzájemnou vazbou a uspořádáním v prostoru.

V tkaninách jsou nitě uspořádány do dnou na sebe kolmých směrů. Pokud je zátěž rovnoběžná s jednou soustavou, vyvolá pouze normálové deformace. Pokud je textilie zatěžována v jiném směru než po osnově nebo útku, s normálovou deformací vzniká také deformace smyková.

Jednoklonná krystalografická soustava

Podmínky: úhly α a ω jsou nenulové, matice modulů je obecná a musí splňovat tuto podmínku:

$$\operatorname{tg} 2\omega = \frac{2(\bar{E}_{14} + \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} - \bar{E}_{22}} \quad (46)$$

Matice modulů je obecná:

$$\bar{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & \bar{E}_{14} \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{22} & \bar{E}_{24} \\ \bar{E}_{14} & \bar{E}_{24} & \bar{E}_{44} \end{pmatrix} \quad (47)$$

Čtverečná krystalografická soustava

Tento typ anizotropie se projevuje při vhodné kombinaci hodnot zatížení v obou směrech a úhlu α . Rovnost modulů nastává při zachování podmínek:

$$\omega \neq 0$$

$$E_{11} \neq E_{22}$$

$$E_{24} \neq -E_{14}$$

$$tg 4\omega = \frac{4(\bar{E}_{14} - \bar{E}_{24})}{\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12} - 4\bar{E}_4} \quad (48)$$

Symetrická matice je složena pouze ze čtyřech prvků:

$$\bar{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & \bar{E}_{14} \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{11} & -\bar{E}_{14} \\ \bar{E}_{14} & -\bar{E}_{14} & E_4 \end{pmatrix} \quad (49)$$

Kosočtverečná krystalografická soustava

Je to anizotropie charakteru ortotropie. Je to namáhání textilie v osách symetrie struktury. Osy symetrie struktury a osy symetrie anizotropie jsou totožné. Pro tento typ platí:

$$\omega = \alpha = 0$$

$$E_{14} = E_{24} = 0$$

Tenzor rotace R je jednotkový tenzor $R = I$

$$\bar{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & 0 \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & E_4 \end{pmatrix} \quad (50)$$

$$E_4 = \frac{1}{4}(\bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} - 2\bar{E}_{12}) \quad (51)$$

Anizotropie charakteru transversální izotropie

Matice modulů odpovídá šesterečné krystalografické soustavě. Platí:

$$\alpha = 0$$

$$\omega = 0$$

Z těchto podmínek je zřejmé, že všechny osy jsou hlavní.

$$\bar{E}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{E}_{11} & \bar{E}_{12} & 0 \\ \bar{E}_{12} & \bar{E}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & E_4 \end{pmatrix} \quad (52)$$

$$E' = \frac{1}{2}(\bar{E}_{11} - \bar{E}_{12}) \quad (53)$$

Textilie se od rovinných pevných těles liší z hlediska mechaniky kontinua především závislostí modulů na orientaci zatěžujících sil vzhledem ke struktuře textilie a k hlavním osám anizotropie. Tato orientace může vyvolat jiný typ anizotropie než u rovinného tělesa. [9]

Je třeba stanovit zobecněné Poissonovo číslo dvěma nezávislými experimenty jednoosým zatěžováním ve dvou vzájemně kolmých směrech 11, 22 (39).

3. Experimentální část

V této části diplomové práce bude čtenář seznámen s výrobou a zpracováním vzorků. Vzorky byly vytvořeny z materiálu utkaného na tkalcovském stavu K 58-1, který je umístěn v tkalcovské laboratoři FT TU v Liberci. Dále byly proměřovány na přípravku na biaxiální namáhání a zpracovány a vyhodnoceny programem MATLAB.

3.1 Základní parametry tkaniny

Parametry tkaniny použité na výrobu vzorků:

| parametry | Osnova | útek |
|--------------------------|---|--|
| jemnost T [tex] | 20 tex | 20 [tex] |
| materiál | bavlna (CO) – rotorová | Bavlna (CO) – rotorová příze |
| označení | AI BD 20 – režná | AI BD 20 – režná |
| | $\rho = 1,55 \cdot 10^{-6} [\text{kg}/\text{m}^3]$ | $\rho = 1,55 \cdot 10^{-6} [\text{kg}/\text{m}^3]$ |
| zákrut $[\text{m}^{-1}]$ | u rotorových přízí: $z = 1100-1200 [\text{m}^{-1}]$ | u rotorových přízí: $z = 1100-1200 [\text{m}^{-1}]$ |
| průměr příze | $d = 0,193 \text{ mm}$ pro $\mu = 0,45 [1]$ | $d = 0,193 \text{ mm}$ pro $\mu = 0,45 [1]$ |
| poznámka | Osnova byla šlichtována: polep = 6,5 % složení: dávkování <ul style="list-style-type: none"> • 350 l vody • 17 kg NORESOLU A 10 • 6 kg NORESOLU A 110 • 2kg TEXCOR (polyvinilalkohol) | Útek nebyl pařen, volný převíjený |

Tabulka 1 Parametry tkaniny

Parametry z , d a μ byly převzaty z diplomové práce slečny Plíkové

[2]

3.2 Tkalcovský stav K 58

- rozměry stroje: 300× 170 cm
- vodorovná tkací rovina
- bezkorunový automat se samočinnou výměnou útkových cívek
- člunkové zanášení útku, prohoz zajišťuje babka poháněná od hlavní hřídele
- listové prošlupní zařízení typu RBH pro tkaní s 16 listy
- brdová šířka stavu 135 cm
- maximální otáčky: 200 – 235 otáček/min.
- negativní osnovní regulátor pracující přerušovaně
- pozitivní zbožový regulátor s regulací dostavy útku výměnnými koly

3.3 Příprava vzorků

Z různých částí tkaniny plátnové vazby s již zmíněnými parametry byly vystříhány vzorky pro biaxiální a uniaxiální namáhání o rozměrech 15× 15 cm.

Jednotlivé vzorky byly vystříhány z tkaniny pod těmito úhly:

0° -směr osnovy

30°, 45°, 60°

90° - směr útku

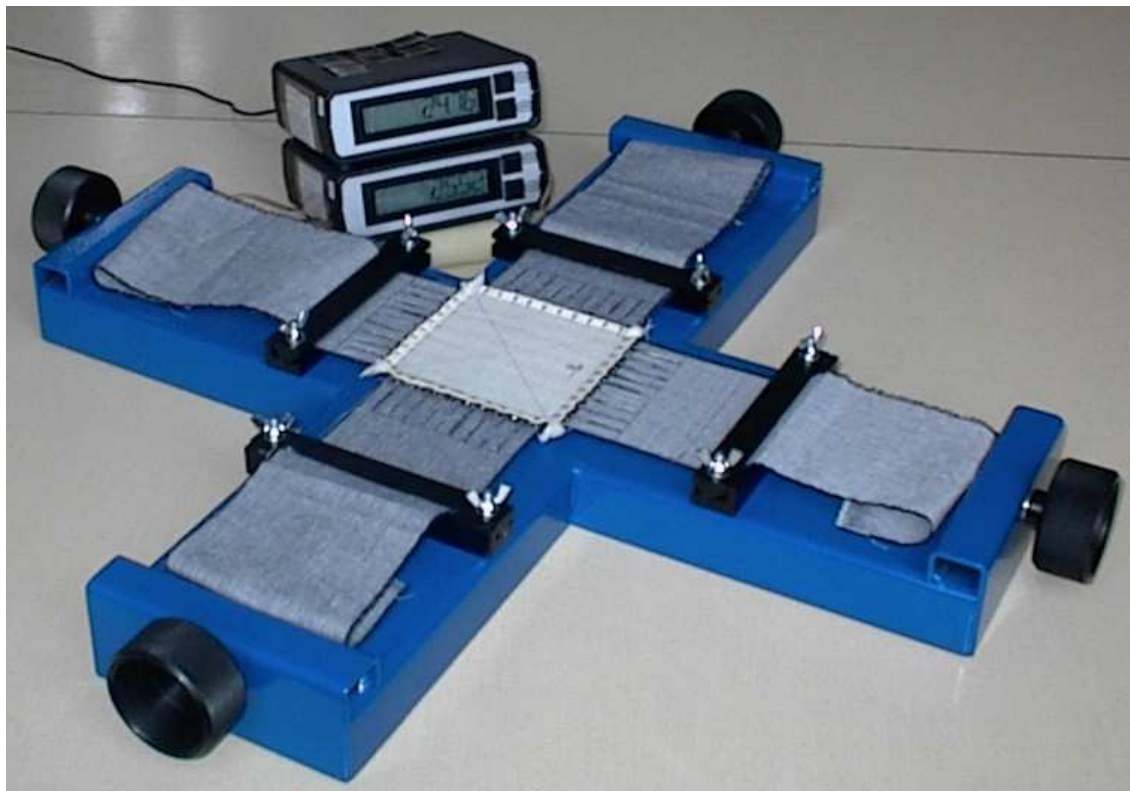
Pro každý druh zatěžování a každý úhel bylo vystřiženo 5 vzorků. Celkem tedy 50 vzorků.

Na každý vzorek byly zakresleny úhlopříčky, a čtyři kontrastní body umístěné do čtverce ve vzdálenosti 2 cm. Dále byl na vzorcích vyznačen směr osnovy, útku a úhel pod kterým byly vzorky vystřiženy.

Každý okraj vzorku byl 2x podehnutý a prošitý klikatým stehem tak, aby vzdálenost švů protějších stran vzorku byla 10 cm. Dvojitým podehnutím a prošitím tak vznikl tunýlek o šířce 0,75 cm pro navlečení jehlice. Tento tunýlek byl nastříhán po 1 cm, aby bylo možné zachytit jehlici háčky umístěnými na pomocných tkaninách na přípravku pro biaxiální namáhání.

3.4 Přípravek pro biaxiální namáhání

Pro zatěžování byl použit přípravek navržený profesorem Střížem. Tento přístroj má tvar kříže, na jehož koncích jsou umístěny upínací čelisti a šrouby s mikroposuvem. V čelistech jsou upevněny pomocné tkaniny. Tyto tkaniny jsou do půl délky rozstříhány na 10 proužků o šířce 1cm. Na konci každého proužku je připevněn háček pro zachycení jehlice.



Obr. 11 Přípravek pro biaxiální zatěžování

3.5 Zatěžování vzorků

Každý vzorek byl upevněn v přípravku pomocí jehlice a háčků. Jako výchozí nulový stav byl považován vzorek o rozměrech 10×10 cm. Tento rozměr byl nastaven pomocí šroubu na konci mikrometrického závitu. Dále byl každý stav vzorku snímán pomocí digitálního fotoaparátu a převeden do počítače.

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty zatížení u jednotlivých vzorků pro namáhání biaxiální a uniaxiální při kterých byl snímán stav tkaniny.

Biaxiální zatěžování

Jelikož ve směru osnovy a útku jsou tkaniny pevnější, byly tyto vzorky zatěžovány větší silou, než vzorky ostatní, u kterých by se vyšším zatěžováním mohl vzorek poškodit. Zatěžování bylo provedeno rovnoměrně ve dvou na sebe kolmých směrech.

| úhel | <u>Snímání obrazu při zátěži [Fn]</u> |
|------------------|---|
| 0° (směr osnovy) | 0; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; po uvolnění na 0 |
| 30° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; po uvolnění na 0 |
| 45° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; po uvolnění na 0 |
| 60° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; po uvolnění na 0 |
| 90° (směr útku) | 0; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; po uvolnění na 0 |

Tabulka 2: Hodnoty biaxiálního zatěžování

Uniaxiální zatěžování

Při tomto měření byl určen jeden směr jako hlavní, ve kterém se provádělo zatěžování dle následující tabulky. Ve směru kolmém bylo stále udržováno nulové zátěžení.

| úhel | <u>Snímání obrazu při zátěži [Fn]</u> |
|------------------|---|
| 0° (směr osnovy) | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; po uvolnění na 0 |
| 30° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; po uvolnění na 0 |
| 45° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; po uvolnění na 0 |
| 60° | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; po uvolnění na 0 |
| 90° (směr útku) | 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; po uvolnění na 0 |

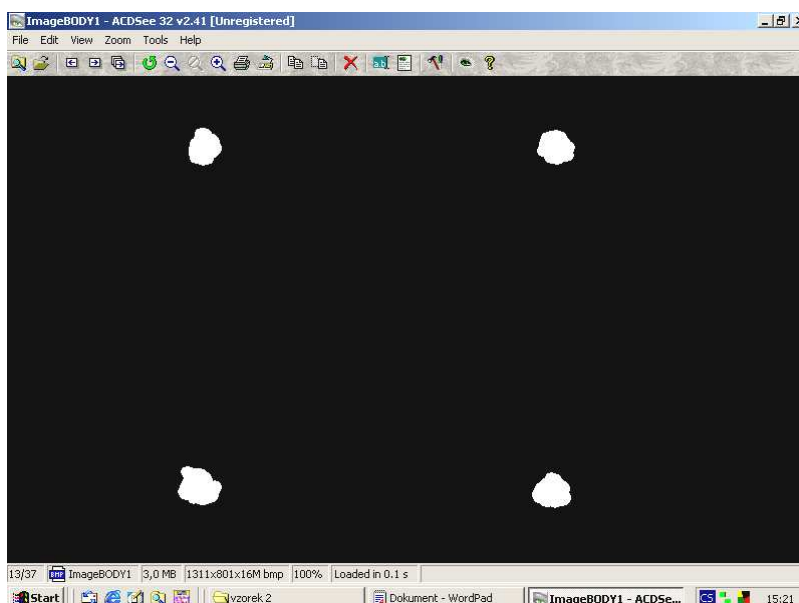
Tabulka 3: Hodnoty uniaxiálního zatěžování

3.6 Zpracování snímaných obrázků

Snímané obrázky namáhané tkaniny byly zpracovány pomocí programu Matlab. Pro určení mechanických vlastností textilií pomocí biaxiálního namáhání, byly proměřeny posuvy čtyř zvolených bodů naznačených na textilií. Na základě vazeb mezi počátečními souřadnicemi a okamžitými souřadnicemi popisujícími pohyb bodů byly vypočteny materiálové gradienty posuvů. [4]

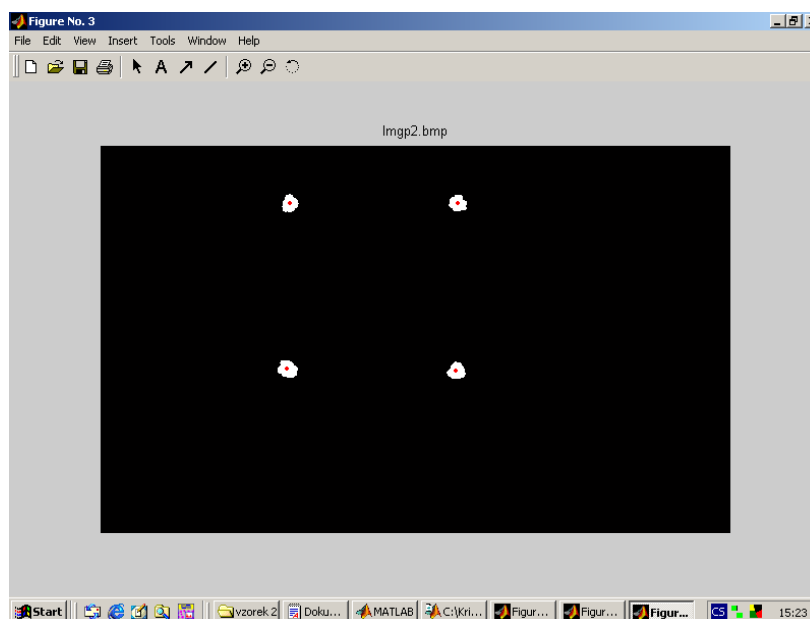


Obr.12 Oříznutý snímek



Obr.13 Oříznutý obrázek převedený do binárního obrazu.

Každá sada obrázků jednotlivých vzorků byla oříznuta tak, aby byly zobrazeny pouze body a měřítko jak je znázorněno na obrázku 12. Dalším krokem bylo převedení vzorku do binárního obrazu, viz obrázek 13. Dále bylo určeno měřítko pro každý vzorek a na obrázku 14 jsou již červeně vyznačené vypočítané těžiště jednotlivých bodů. Tyto těžiště byly v další fázi zpracování převedeny na souřadnice x, y .



Obr. 14 Těžiště bodů.

Souřadnice těžišť posunutých bodů jednotlivých namáhaných vzorků jsou uvedeny v příloze číslo 1.

V průběhu zpracovávání vzorků se ukázalo, jako nevhodné na vzorky zakreslovat směr osnovy, útku a úhlopříčky namáhaného vzorku nebo jiné popisky, které by po oříznutí zůstaly na oříznutém obrázku. Každý prvek velmi ruší převádění vzorku do binárního obrazu. Z tohoto důvodu nebylo možné převést do binárního obrazu 2 vzorky namáhané pod úhlem 45° a dále potom 2 vzorky namáhané po úhlem 60° . Z časových důvodů nebylo možné experiment těchto čtyřech vzorků zopakovat.

Dalším krokem byl výpočet průměrných hodnot souřadnic pro jednotlivé úhly namáhání. Průměrné hodnoty souřadnic jsou uvedeny v následujících tabulkách 4 - 13.

Tabulky průměrných hodnot souřadnic bodů namáhaných vzorků

Tabulka 4 – uniaxiální namáhání - 0° -ve směru osnovy

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9777 | 10,329 | -10,489 | 9,8914 | -10,017 | -10,203 | 10,528 | -10,018 |
| 10 | 10,014 | 10,325 | -10,498 | 9,8391 | -10,118 | -10,165 | 10,602 | -9,9995 |
| 20 | 10,081 | 10,312 | -10,562 | 9,8261 | -10,147 | -10,15 | 10,628 | -9,988 |
| 40 | 10,143 | 10,206 | -10,646 | 9,79 | -10,201 | -10,082 | 10,704 | -9,9141 |
| 60 | 10,261 | 10,164 | -10,812 | 9,6628 | -10,319 | -9,9805 | 10,87 | -9,8466 |
| 80 | 10,352 | 10,013 | -10,905 | 9,5787 | -10,408 | -9,8587 | 10,961 | -9,7329 |
| 100 | 10,422 | 9,9067 | -10,991 | 9,4867 | -10,484 | -9,7516 | 11,053 | -9,6419 |
| 120 | 10,47 | 9,8184 | -11,075 | 9,4131 | -10,548 | -9,6772 | 11,153 | -9,5544 |
| 140 | 10,502 | 9,7389 | -11,1 | 9,365 | -10,594 | -9,5584 | 11,193 | -9,5455 |
| 160 | 10,554 | 9,6968 | -11,14 | 9,3166 | -10,63 | -9,5308 | 11,216 | -9,4826 |
| 180 | 10,607 | 9,6572 | -11,177 | 9,2437 | -10,653 | -9,464 | 11,223 | -9,4368 |
| 200 | 10,6 | 9,5796 | -11,22 | 9,2152 | -10,705 | -9,4288 | 11,325 | -9,366 |
| 0 | 10,197 | 10,162 | -10,756 | 9,7092 | -10,258 | -10,021 | 10,817 | -9,8498 |

Tabulka 5 – uniaxiální namáhání - 30°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,14 | 9,9957 | -10,272 | 10,105 | -10,097 | -10,168 | 10,229 | -9,9331 |
| 5 | 10,291 | 9,8793 | -10,416 | 9,9772 | -10,223 | -10,047 | 10,348 | -9,8093 |
| 10 | 10,447 | 9,7605 | -10,527 | 9,8017 | -10,391 | -9,929 | 10,471 | -9,6332 |
| 20 | 10,798 | 9,5718 | -10,82 | 9,3199 | -10,737 | -9,7399 | 10,759 | -9,1518 |
| 40 | 11,335 | 9,3413 | -11,267 | 8,4449 | -11,244 | -9,5055 | 11,176 | -8,2808 |
| 60 | 11,675 | 9,2115 | -11,527 | 7,7967 | -11,601 | -9,3508 | 11,435 | -7,6573 |
| 80 | 11,93 | 9,1193 | -11,684 | 7,3705 | -11,862 | -9,2685 | 11,616 | -7,2213 |
| 100 | 12,17 | 9,0371 | -11,753 | 7,0874 | -12,093 | -9,1729 | 11,676 | -6,9516 |
| 120 | 12,385 | 8,9661 | -11,865 | 6,7773 | -12,318 | -9,0941 | 11,797 | -6,6492 |
| 140 | 12,576 | 8,8735 | -11,904 | 6,5766 | -12,532 | -9,0092 | 11,86 | -6,4409 |
| 0 | 11,35 | 9,3606 | -10,697 | 9,4202 | -11,281 | -9,4881 | 10,628 | -9,2927 |

Tabulka 6 – uniaxiální namáhání -45°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9697 | 10,05 | -10,219 | 10,358 | -9,7268 | -10,268 | 9,976 | -10,14 |
| 5 | 10,351 | 9,7026 | -10,572 | 10,003 | -10,038 | -9,838 | 10,259 | -9,8679 |
| 10 | 10,966 | 9,0589 | -11,21 | 9,3193 | -10,651 | -9,2229 | 10,895 | -9,1554 |
| 20 | 11,795 | 8,0685 | -12,036 | 8,4096 | -11,485 | -8,3198 | 11,727 | -8,1582 |
| 40 | 12,495 | 7,3158 | -12,683 | 7,7083 | -12,034 | -7,6203 | 12,223 | -7,4037 |
| 60 | 12,777 | 6,8291 | -12,949 | 7,2021 | -12,427 | -7,1787 | 12,597 | -6,8525 |
| 80 | 13,099 | 6,4528 | -13,227 | 6,7914 | -12,714 | -6,8277 | 12,843 | -6,4165 |
| 100 | 13,315 | 6,1566 | -13,464 | 6,518 | -12,97 | -6,5491 | 13,12 | -6,1255 |
| 120 | 13,421 | 5,9744 | -13,545 | 6,3025 | -13,112 | -6,36 | 13,236 | -5,9169 |
| 140 | 14,46 | 6,2986 | -12,846 | 6,6027 | -12,143 | -5,8193 | 14,214 | -5,331 |
| 0 | 10,431 | 9,6343 | -11,966 | 10,056 | -11,559 | -8,4801 | 10,206 | -8,3082 |

Tabulka 7 – uniaxiální namáhání -60°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9883 | 10,016 | -10,254 | 9,9109 | -9,8375 | -10,272 | 10,103 | -9,6555 |
| 5 | 10,163 | 9,8312 | -10,513 | 9,7575 | -9,9955 | -10,106 | 10,346 | -9,4827 |
| 10 | 10,385 | 9,4958 | -10,792 | 9,5999 | -10,236 | -9,7636 | 10,643 | -9,3322 |
| 20 | 10,808 | 8,8365 | -11,296 | 9,3365 | -10,623 | -9,1145 | 11,112 | -9,0585 |
| 40 | 11,32 | 7,842 | -11,978 | 8,9557 | -11,12 | -8,1287 | 11,779 | -8,669 |
| 60 | 11,594 | 7,2911 | -12,355 | 8,6823 | -11,373 | -7,5923 | 12,134 | -8,3812 |
| 80 | 11,758 | 6,9066 | -12,602 | 8,5025 | -11,534 | -7,2074 | 12,378 | -8,2017 |
| 100 | 11,898 | 6,636 | -12,817 | 8,3405 | -11,666 | -6,9374 | 12,585 | -8,0391 |
| 120 | 11,988 | 6,4281 | -12,981 | 8,2359 | -11,734 | -6,7431 | 12,727 | -7,9209 |
| 140 | 12,048 | 6,2596 | -13,103 | 8,1308 | -11,821 | -6,5678 | 12,876 | -7,8226 |
| 0 | 10,368 | 9,4498 | -11,228 | 9,4061 | -10,134 | -9,8361 | 10,994 | -9,0198 |

Tabulka 8 – uniaxiální namáhání -90°- po útku

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9963 | 10,409 | -10,614 | 9,9337 | -9,9501 | -10,119 | 10,568 | -10,224 |
| 5 | 10,033 | 10,388 | -10,649 | 9,9061 | -10,003 | -10,11 | 10,619 | -10,184 |
| 10 | 10,071 | 10,369 | -10,701 | 9,8935 | -10,034 | -10,08 | 10,665 | -10,183 |
| 20 | 10,13 | 10,332 | -10,788 | 9,8877 | -10,083 | -10,061 | 10,741 | -10,159 |
| 40 | 10,235 | 10,267 | -10,893 | 9,8158 | -10,206 | -9,9896 | 10,864 | -10,093 |
| 60 | 10,305 | 10,22 | -10,988 | 9,7356 | -10,263 | -9,9435 | 10,946 | -10,012 |
| 80 | 10,359 | 10,172 | -11,043 | 9,6921 | -10,327 | -9,9049 | 11,011 | -9,9596 |
| 100 | 10,396 | 10,149 | -11,09 | 9,6454 | -10,359 | -9,8673 | 11,054 | -9,927 |
| 120 | 10,445 | 10,112 | -11,138 | 9,6301 | -10,403 | -9,8458 | 11,096 | -9,8961 |
| 140 | 10,476 | 10,081 | -11,168 | 9,6116 | -10,45 | -9,8149 | 11,142 | -9,8781 |
| 160 | 10,521 | 10,089 | -11,213 | 9,6085 | -10,494 | -9,8356 | 11,186 | -9,8618 |
| 180 | 10,552 | 10,047 | -11,255 | 9,5991 | -10,51 | -9,8057 | 11,214 | -9,8402 |
| 0 | 10,249 | 10,343 | -10,843 | 9,8703 | -10,211 | -10,055 | 10,805 | -10,158 |

Tabulka 9 – biaxiální namáhání - 0°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,135 | 10,127 | -10,631 | 10,208 | -10,323 | -10,132 | 10,819 | -10,203 |
| 10 | 10,108 | 10,189 | -10,677 | 10,253 | -10,355 | -10,193 | 10,924 | -10,249 |
| 20 | 10,186 | 10,184 | -10,7 | 10,293 | -10,433 | -10,212 | 10,947 | -10,266 |
| 40 | 10,213 | 10,249 | -10,762 | 10,332 | -10,476 | -10,256 | 11,025 | -10,326 |
| 60 | 10,245 | 10,271 | -10,82 | 10,369 | -10,477 | -10,27 | 11,052 | -10,369 |
| 80 | 10,289 | 10,317 | -10,865 | 10,391 | -10,532 | -10,301 | 11,109 | -10,407 |
| 100 | 10,325 | 10,366 | -10,914 | 10,425 | -10,559 | -10,343 | 11,149 | -10,448 |
| 120 | 10,359 | 10,393 | -10,935 | 10,474 | -10,607 | -10,358 | 11,183 | -10,509 |
| 140 | 10,411 | 10,409 | -10,97 | 10,508 | -10,649 | -10,407 | 11,208 | -10,51 |
| 160 | 10,412 | 10,461 | -11,009 | 10,537 | -10,649 | -10,455 | 11,246 | -10,542 |
| 180 | 10,452 | 10,471 | -11,047 | 10,55 | -10,686 | -10,451 | 11,281 | -10,57 |
| 0 | 10,478 | 10,474 | -11,041 | 10,589 | -10,703 | -10,474 | 11,266 | -10,589 |

Tabulka 10 – biaxiální namáhání - 30°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,167 | 9,9482 | -10,377 | 10,071 | -10,078 | -9,9985 | 10,288 | -10,02 |
| 5 | 10,215 | 9,9799 | -10,402 | 10,176 | -10,125 | -10,066 | 10,312 | -10,09 |
| 10 | 10,261 | 10,021 | -10,417 | 10,231 | -10,17 | -10,094 | 10,325 | -10,157 |
| 20 | 10,317 | 10,027 | -10,401 | 10,326 | -10,226 | -10,115 | 10,309 | -10,238 |
| 40 | 10,445 | 10,035 | -10,422 | 10,435 | -10,35 | -10,116 | 10,327 | -10,355 |
| 60 | 10,531 | 10,009 | -10,412 | 10,497 | -10,429 | -10,097 | 10,31 | -10,408 |
| 80 | 10,623 | 10,025 | -10,428 | 10,542 | -10,531 | -10,103 | 10,336 | -10,464 |
| 100 | 10,684 | 10,029 | -10,421 | 10,607 | -10,6 | -10,112 | 10,337 | -10,524 |
| 120 | 10,754 | 10,034 | -10,447 | 10,639 | -10,663 | -10,115 | 10,356 | -10,557 |
| 140 | 10,813 | 10,026 | -10,45 | 10,684 | -10,719 | -10,112 | 10,355 | -10,598 |
| 160 | 10,865 | 10,025 | -10,47 | 10,733 | -10,766 | -10,122 | 10,371 | -10,637 |
| 0 | 10,405 | 9,894 | -10,446 | 10,224 | -10,339 | -9,9848 | 10,38 | -10,133 |

Tabulka 11 – biaxiální namáhání - 45°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,415 | 10,109 | -10,381 | 10,098 | -10,651 | -9,9404 | 10,616 | -10,267 |
| 5 | 10,466 | 10,17 | -10,39 | 10,137 | -10,726 | -10,014 | 10,65 | -10,293 |
| 10 | 10,479 | 10,201 | -10,415 | 10,177 | -10,738 | -10,085 | 10,674 | -10,294 |
| 20 | 10,532 | 10,237 | -10,439 | 10,207 | -10,805 | -10,091 | 10,711 | -10,353 |
| 40 | 10,594 | 10,288 | -10,526 | 10,212 | -10,825 | -10,131 | 10,757 | -10,37 |
| 60 | 10,67 | 10,313 | -10,594 | 10,215 | -10,909 | -10,171 | 10,833 | -10,357 |
| 80 | 10,764 | 10,327 | -10,629 | 10,234 | -11,035 | -10,19 | 10,899 | -10,371 |
| 100 | 10,785 | 10,354 | -10,672 | 10,238 | -11,038 | -10,206 | 10,925 | -10,387 |
| 120 | 10,843 | 10,414 | -10,707 | 10,285 | -11,111 | -10,269 | 10,975 | -10,431 |
| 140 | 10,895 | 10,409 | -10,756 | 10,281 | -11,155 | -10,259 | 11,015 | -10,43 |
| 160 | 10,932 | 10,451 | -10,776 | 10,316 | -11,182 | -10,31 | 11,026 | -10,458 |
| 0 | 10,732 | 10,129 | -10,656 | 10,032 | -11,031 | -9,9444 | 10,955 | -10,216 |

Tabulka 12 – biaxiální namáhání - 60°

| F _n | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,189 | 10,406 | -10,65 | 9,7276 | -10,295 | -10,275 | 10,756 | -9,8584 |
| 5 | 10,202 | 10,446 | -10,683 | 9,7338 | -10,297 | -10,304 | 10,778 | -9,8756 |
| 10 | 10,202 | 10,461 | -10,702 | 9,7259 | -10,313 | -10,318 | 10,813 | -9,8685 |
| 20 | 10,225 | 10,471 | -10,778 | 9,1782 | -10,334 | -10,347 | 10,888 | -9,8426 |
| 40 | 10,271 | 10,538 | -10,925 | 9,6837 | -10,385 | -10,397 | 11,039 | -9,8245 |
| 60 | 10,303 | 10,561 | -11,042 | 9,66 | -10,416 | -10,423 | 11,154 | -9,798 |
| 80 | 10,311 | 10,602 | -11,111 | 9,655 | -10,438 | -10,47 | 11,237 | -9,7875 |
| 100 | 10,325 | 10,658 | -11,192 | 9,6599 | -10,448 | -10,516 | 11,315 | -9,8011 |
| 120 | 10,334 | 10,678 | -11,249 | 9,6675 | -10,465 | -10,557 | 11,38 | -9,7883 |
| 140 | 10,356 | 10,727 | -11,304 | 9,6657 | -10,492 | -10,591 | 11,44 | -9,802 |
| 160 | 10,39 | 10,752 | -11,36 | 9,679 | -10,519 | -10,631 | 11,489 | -9,7995 |
| 0 | 10,347 | 10,492 | -11,011 | 9,6921 | -10,453 | -10,346 | 11,118 | -9,8389 |

Tabulka 13 – biaxiální namáhání -90°

| F_n | x_1 | y_1 | x_2 | y_2 | x_3 | y_3 | x_4 | y_4 |
|-------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,448 | 9,976 | -10,479 | 10,114 | -10,594 | -10,144 | 10,625 | -9,9463 |
| 10 | 10,478 | 10,003 | -10,514 | 10,12 | -10,616 | -10,175 | 20,651 | -9,9479 |
| 20 | 10,516 | 10,044 | -10,533 | 10,174 | -10,659 | -10,218 | 10,677 | -9,9997 |
| 40 | 10,546 | 10,1 | -10,584 | 10,235 | -10,702 | -10,291 | 10,74 | -10,044 |
| 60 | 10,609 | 10,149 | -10,636 | 10,274 | -10,766 | -10,317 | 10,793 | -10,105 |
| 80 | 10,653 | 10,205 | -10,683 | 10,326 | -10,812 | -10,37 | 10,842 | -10,161 |
| 100 | 10,686 | 10,237 | -10,724 | 10,366 | -10,845 | -10,37 | 10,883 | -10,233 |
| 120 | 10,73 | 10,274 | -10,765 | 10,426 | -10,884 | -10,454 | 10,919 | -10,146 |
| 140 | 10,76 | 10,318 | -10,778 | 10,425 | -10,913 | -10,451 | 10,93 | -10,293 |
| 160 | 10,798 | 10,348 | -10,832 | 10,455 | -10,921 | -10,484 | 10,954 | -10,319 |
| 180 | 10,84 | 10,353 | -10,861 | 10,493 | -10,982 | -10,495 | 11,003 | -10,351 |
| 0 | 10,694 | 10,11 | -10,72 | 10,317 | -10,855 | -10,292 | 10,88 | -10,135 |

3.7 Vyhodnocení naměřených hodnot

Nejprve bylo vyhodnoceno měření uniaxiálně namáhaných vzorků ve směru osnovy a útku, aby byly zjištěny hodnoty Poissonova čísla v hlavních směrech anizotropie. Tyto dvě hodnoty byly důležité pro výpočet zobecněného Poissonova čísla potřebného ke zpracování dalších vzorků namáhaných jak uniaxiálně ve směru jiném než po osnově a útku, tak pro vzorky zatěžované biaxiálně.

Vzhledem k velkému množství tabulek s hodnotami a grafů jsou všechny uvedeny v příloze na CD přiložené k této diplomové práci.

V experimentální části této práce budou uvedeny pouze výsledné grafy hodnot Poissonova čísla, úhlu polohy hlavní osy anizotropie.

Pro názornost je dále uvedeno zpracování a vyhodnocení jednoho vzorku. Hodnoty a grafy ostatních vzorků jsou uvedeny, jak již bylo zmíněno v příloze na CD.

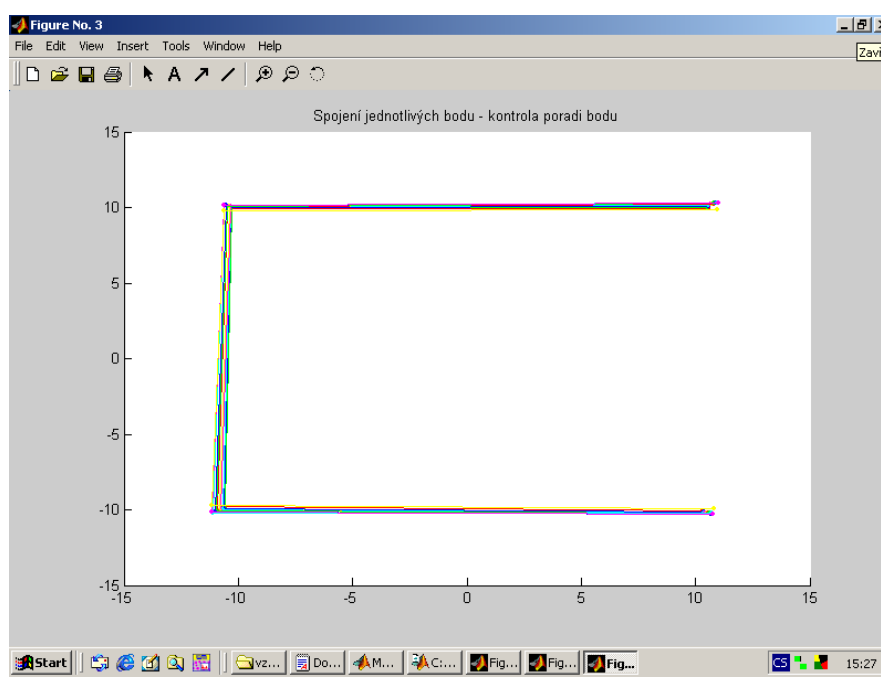
Zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot pro uniaxiální namáhání ve směru osnovy

Pro výpočet tenzoru deformací a poměrných sil vzorku zatěžovaných v jednom z hlavních směrů, tj. ve směru osnovy bylo nutné znát průměrné hodnoty souřadnic čtyř bodů, které byly získány z měření jednotlivých vzorků. Tyto hodnoty jsou uvedeny

v tabulce 4. Dalšími potřebnými hodnotami byly síly, kterými byly vzorky zatěžovány. Hodnoty těchto sil jsou také v tabulce 4. Zatěžovalo se pouze ve směru osnovy, ve směru útku bylo udržováno nulové napětí.

V programu Matlab byly dále určeny souřadnice vrcholů celého vzorku a délek stran celého vzorku. Jelikož se při namáhání také zaznamenávaly hodnoty naměřené po odlehčení, musely být tyto hodnoty smazány, jak zatěžující síly, tak souřadnice bodů po odlehčení.

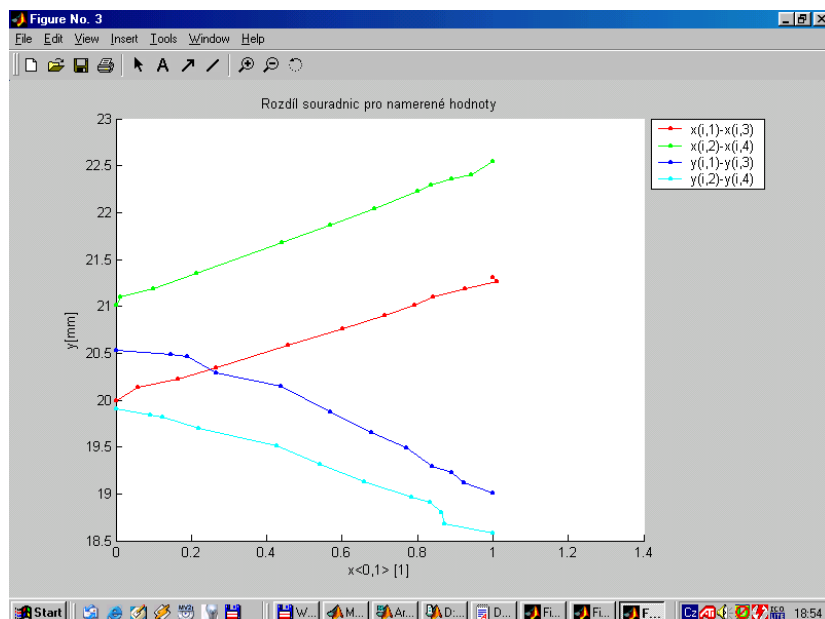
Bylo vykresleno posunutí jednotlivých bodů při namáhání a pro ověření správnosti postupu byly jednotlivé body spojeny úsečkami. Tento graf je na obrázku 15.



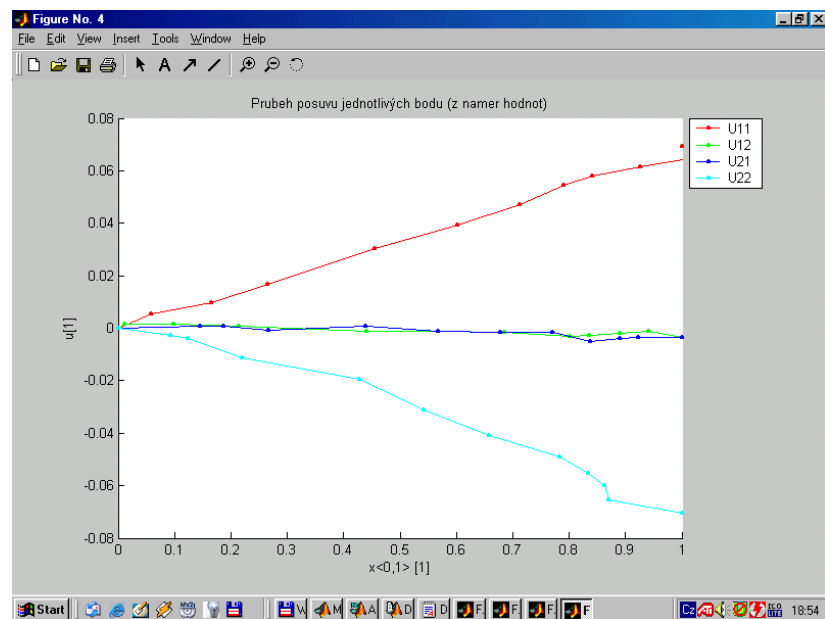
Obr. 15 Kontrola pořadí bodů

Dalším krokem bylo vykreslení rozdílů souřadnic pro naměřené hodnoty a pro hodnoty získané aproximací - obrázek 16, vykreslení posuvů jednotlivých bodů - obrázek 17 a výpočet tenzoru protažení. Na obrázku 18 je vykreslen průběh naměřených a proložených sil. Byly vypočteny goniometrické funkce a délky stran vzorku, dále potom x-ové a y-ové souřadnice vrcholů celého vzorku.

Dále byly vyjádřeny složky jednočárkovaného a dvoučárkovaného tenzoru- z podmínek rovnováhy přetvořeného elementu – obrázek 19, 20 a Cauchyho tenzoru poměrných sil- obr. 21.

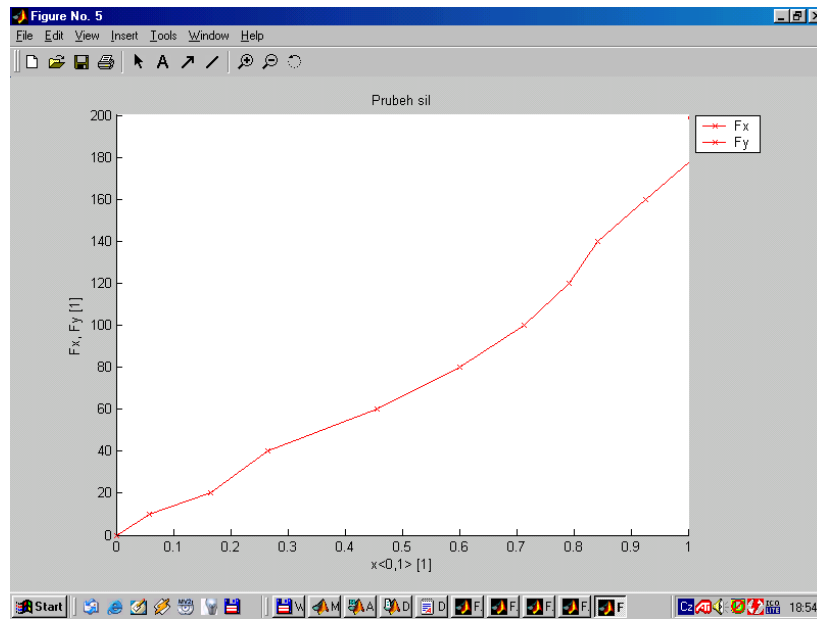


Obr. 16 Rozdíl souřadnic naměřených hodnot

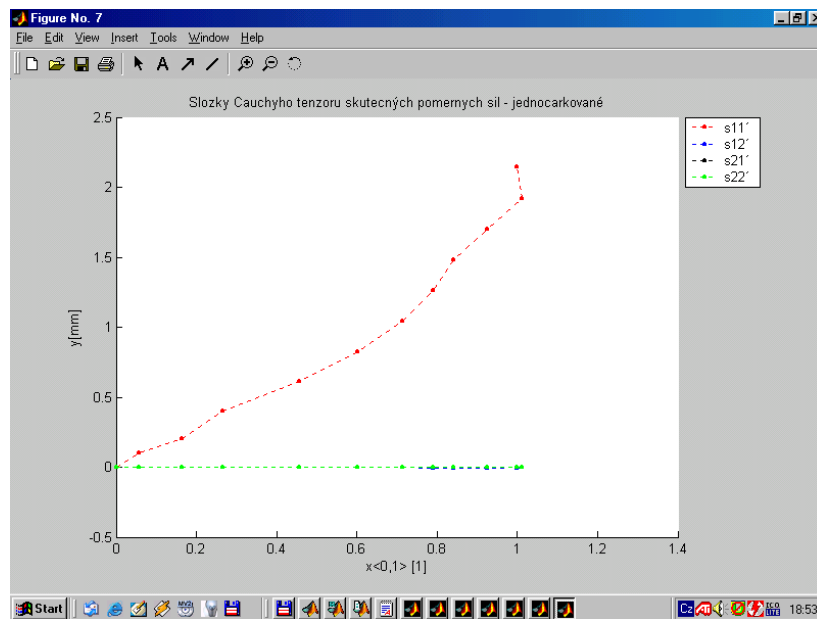


Obr. 17 Průběh posuvu jednotlivých bodů

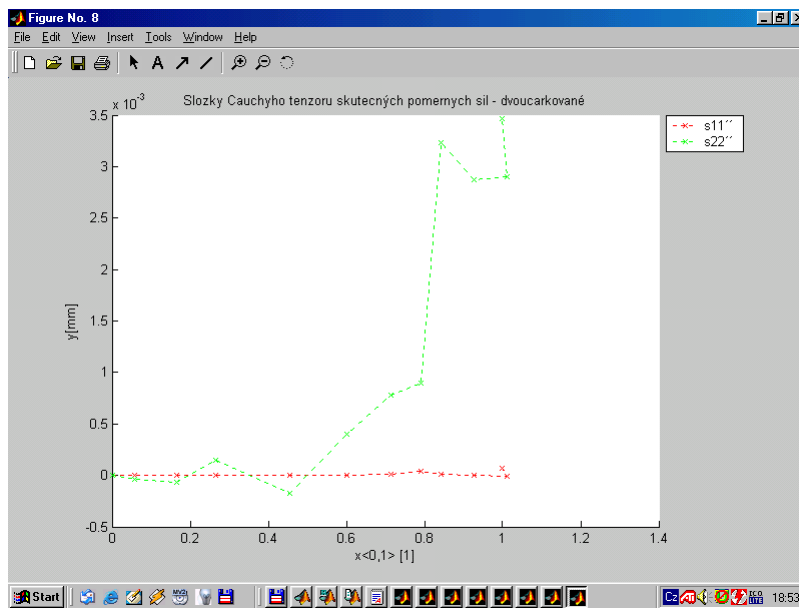
Na obrázku 22 je vykreslen graf úhlu ω , což je natočení hlavní osy anizotropie. Pro výpočet Cauchyho tenzoru poměrných sil byla zvolena konjugovaná dvojice: Biotův tenzor poměrných sil S_B a tenzor protažení Δ . Složky Biotova tenzoru poměrných sil jsou vykresleny na obr. 23, na obrázku 24 jsou dále vykreslena Poissonova čísla.



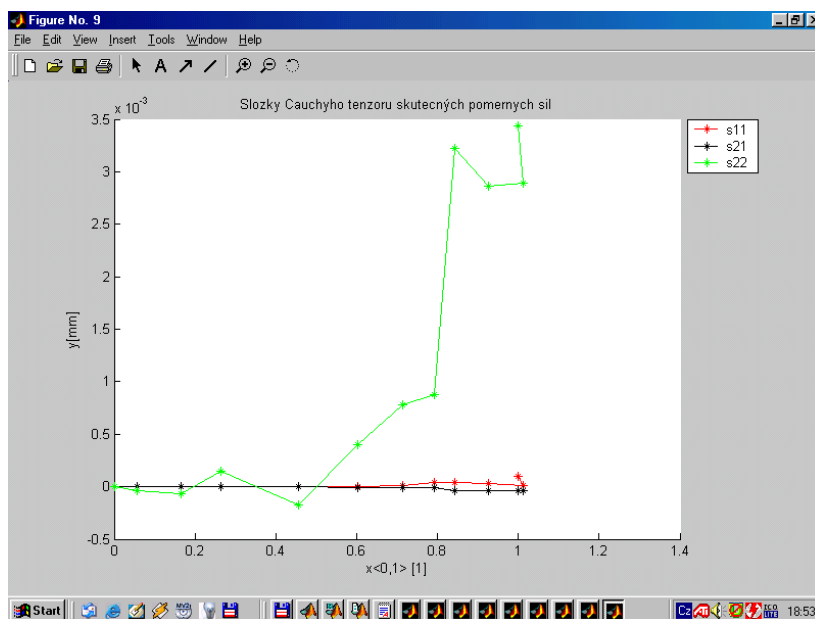
Obr. 18 Průběh sil



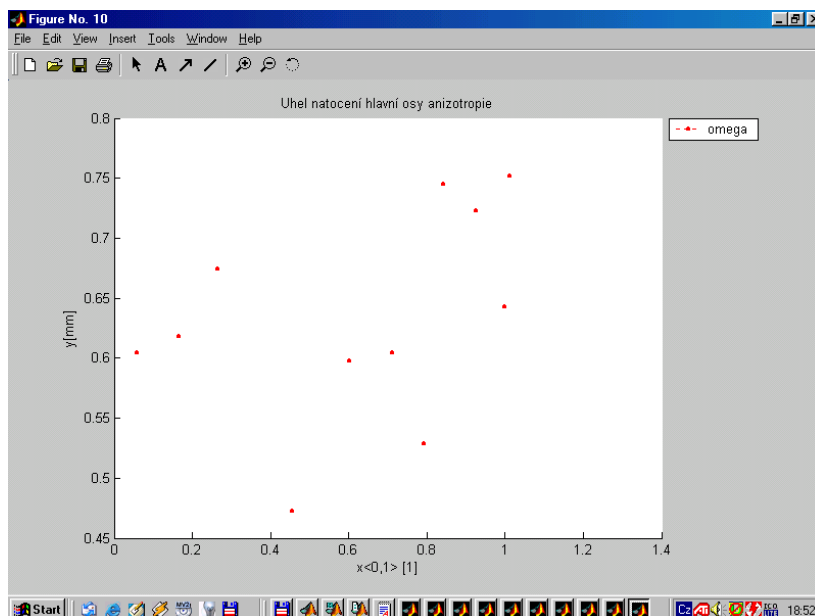
Obr. 19 Složky Cauchyho tenzoru skutečných poměrných sil- jednocárkové



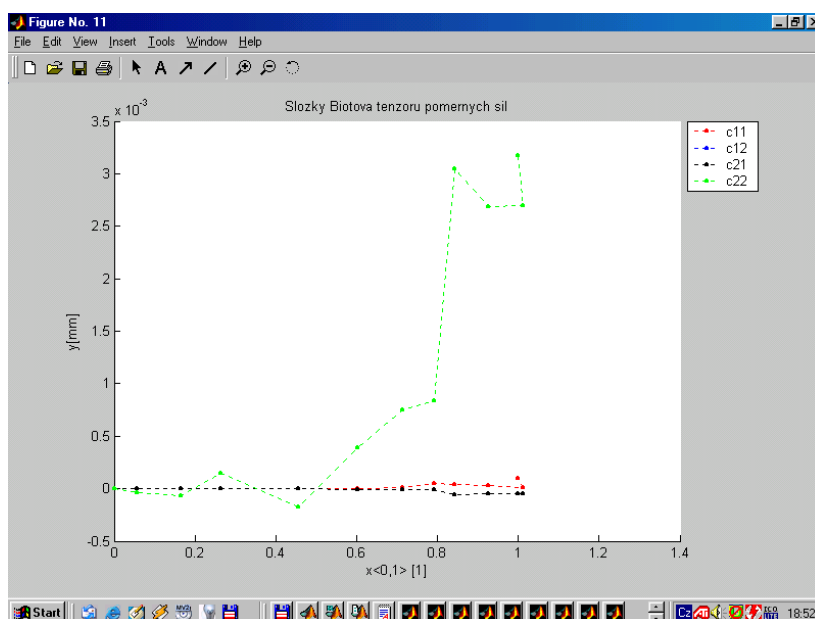
Obr. 20 Složky Cauchyho tenzoru skutečných poměrných sil- dvoučárkové



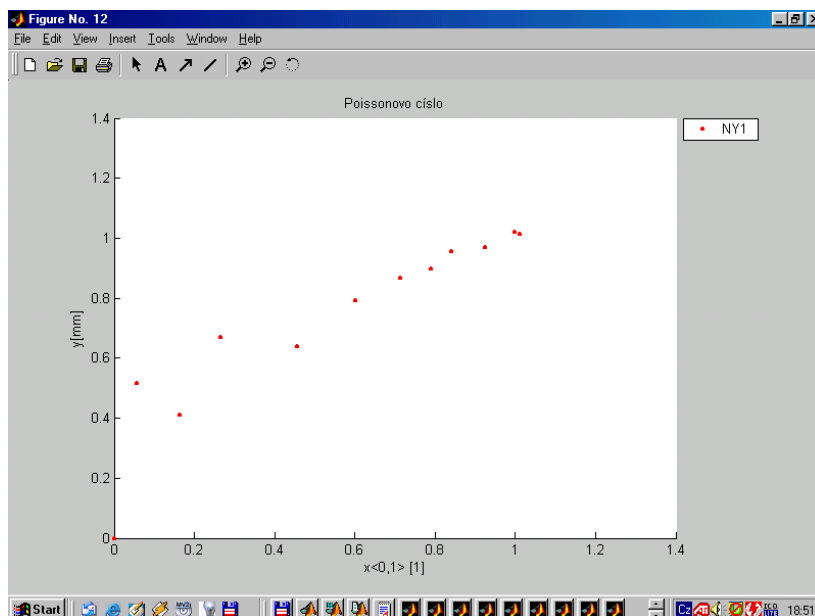
Obr. 21 Složky Cauchyho tenzoru skutečných poměrných sil



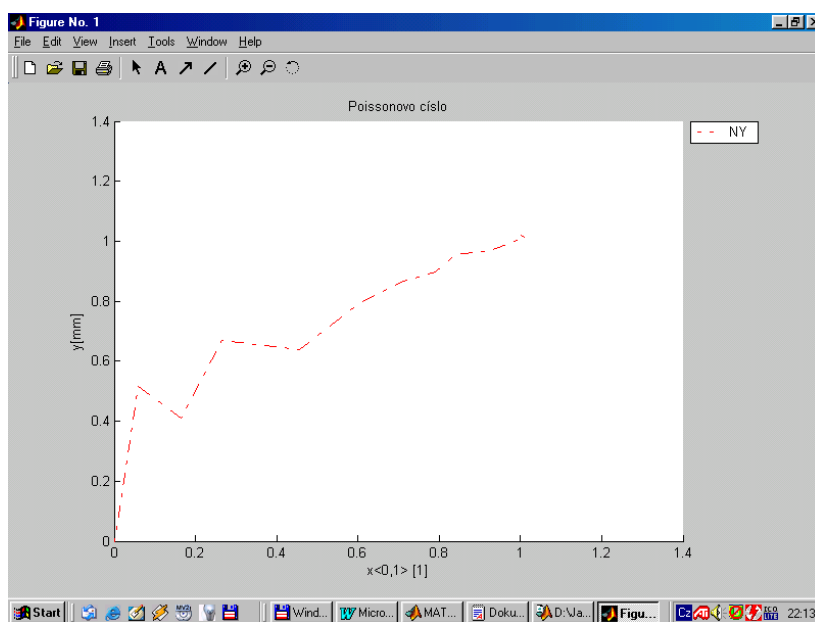
Obr. 22 Úhel natočení hlavní osy anizotropie



Obr 23 Složky Biotova tenzoru poměrných sil

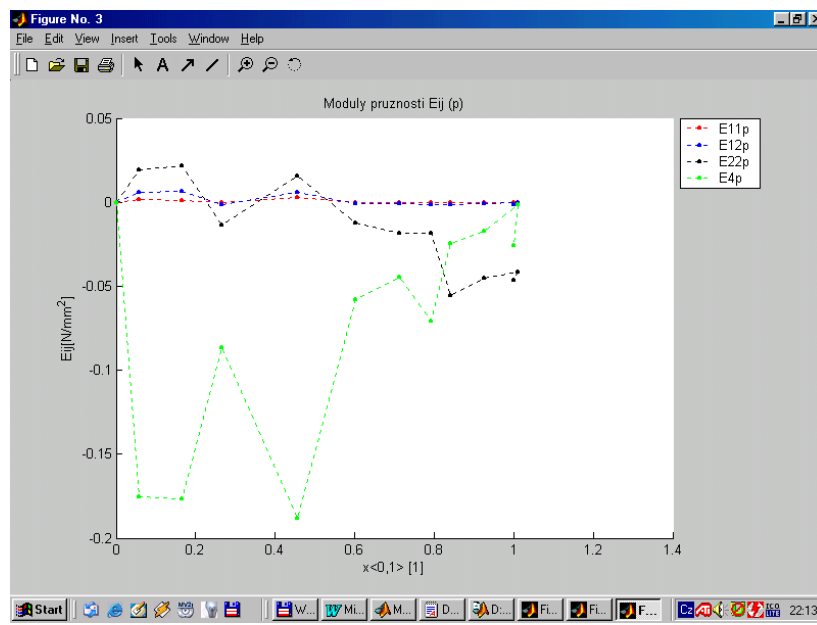


Obr 24 Poissonovo číslo



Obr 25 Vykreslení Poissonova čísla

Následně byl proveden výpočet modulu pružnosti. Graf modulu pružnosti je uveden na obrázku 26.

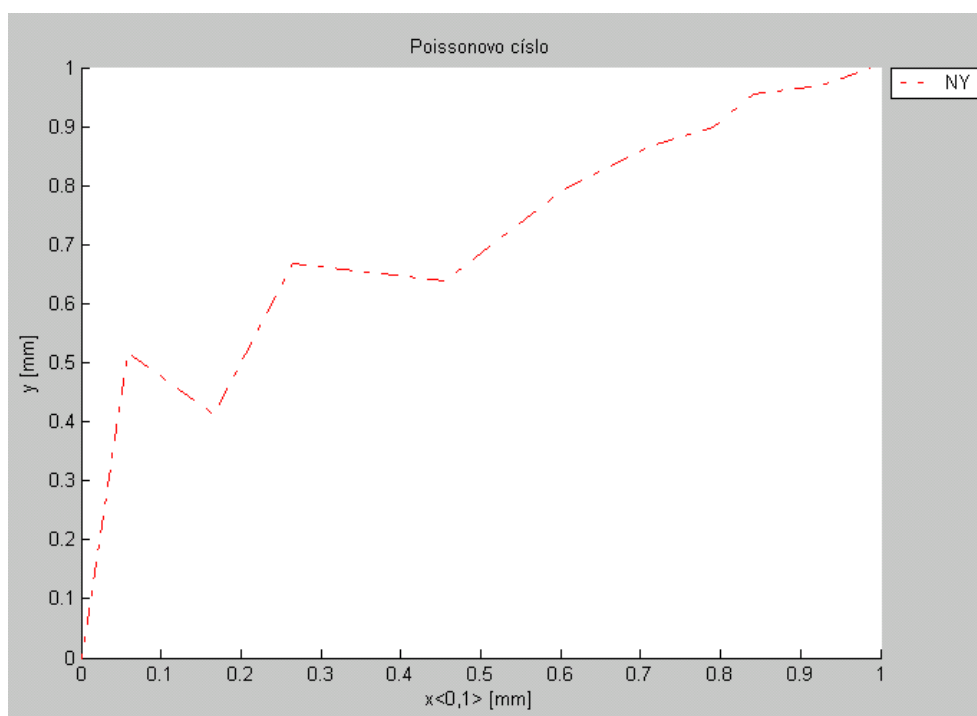


Obr. 26 Modul pružnosti

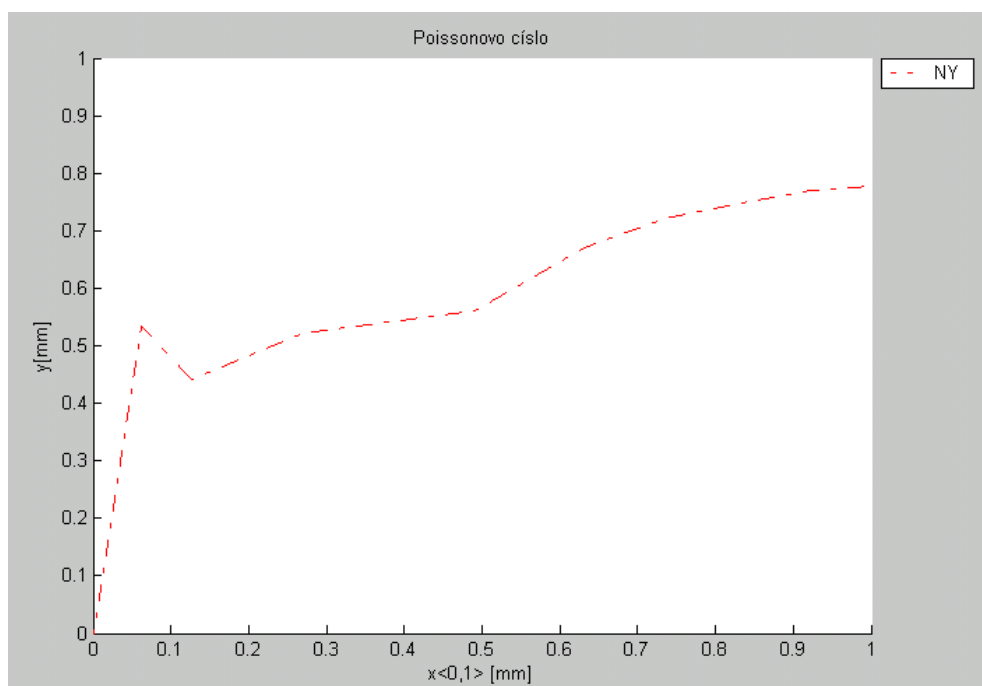
3.7.1 Grafy Poissonových čísel pro jednotlivá zatížení vzorků různých úhlů

Uniaxiální namáhání

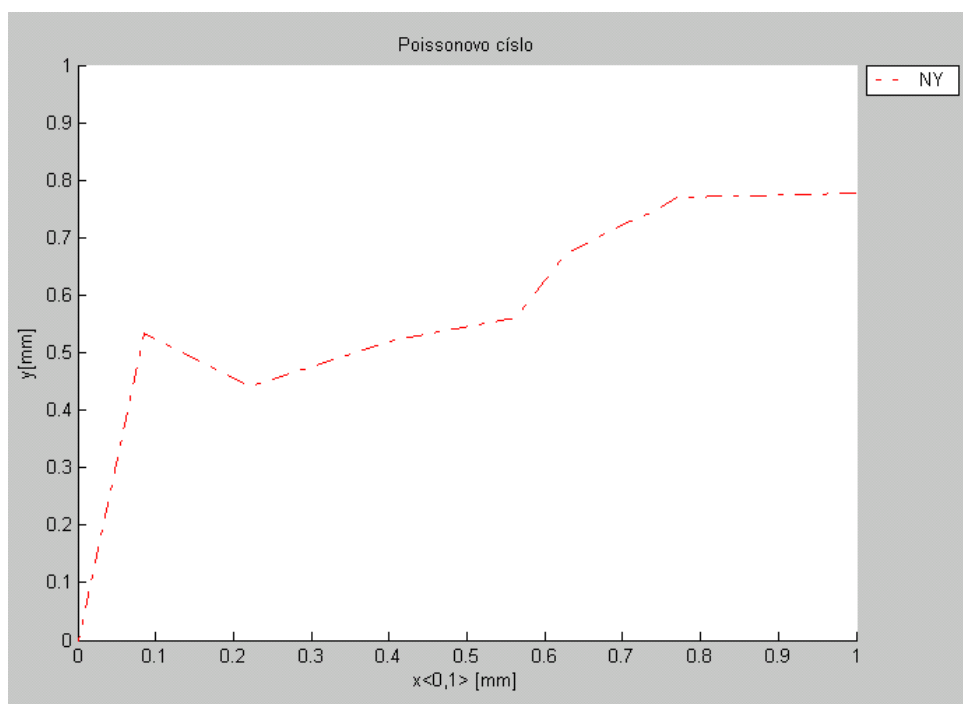
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - směr osnovy



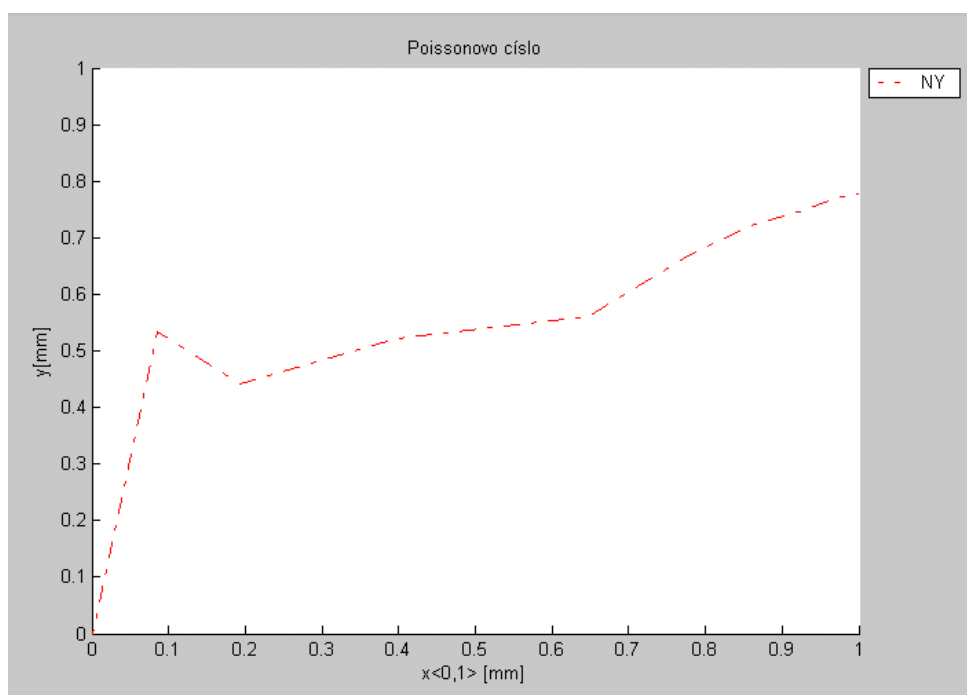
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



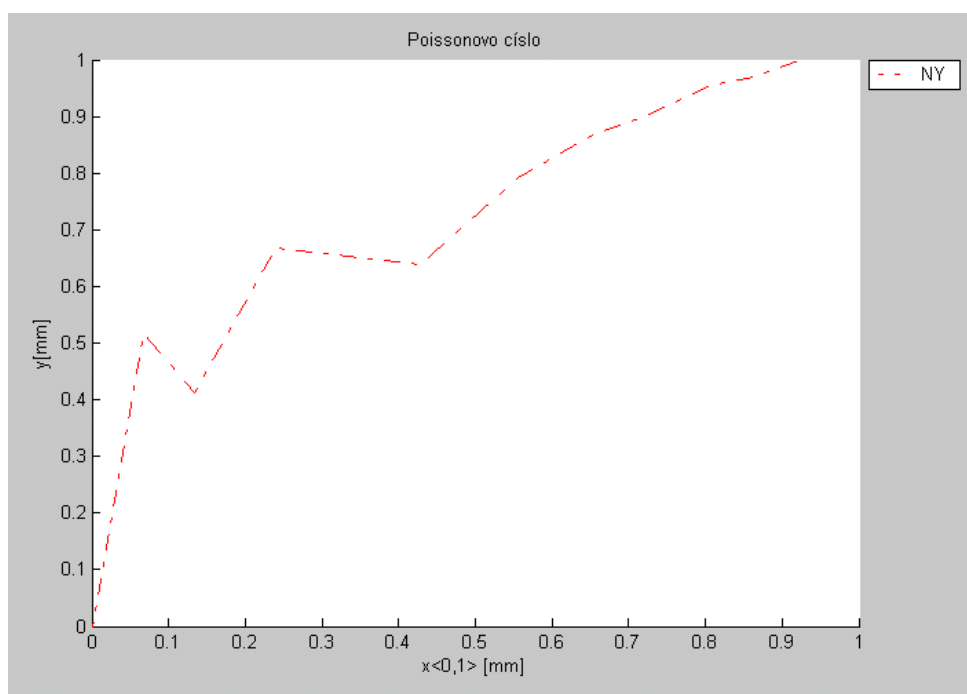
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

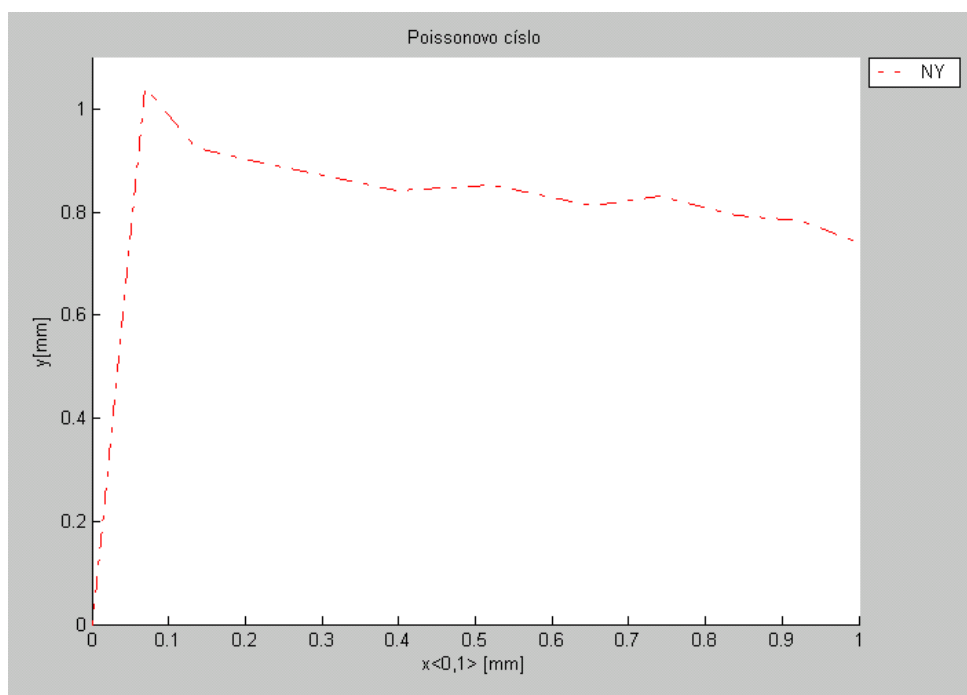


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90° - zátěž po útku

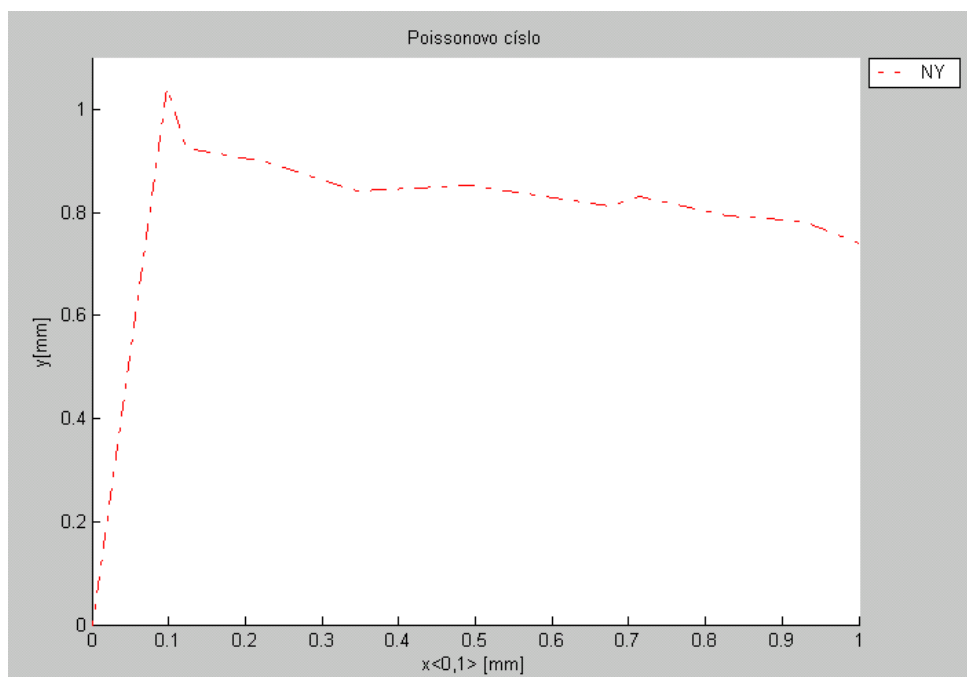


Biaxiální namáhání

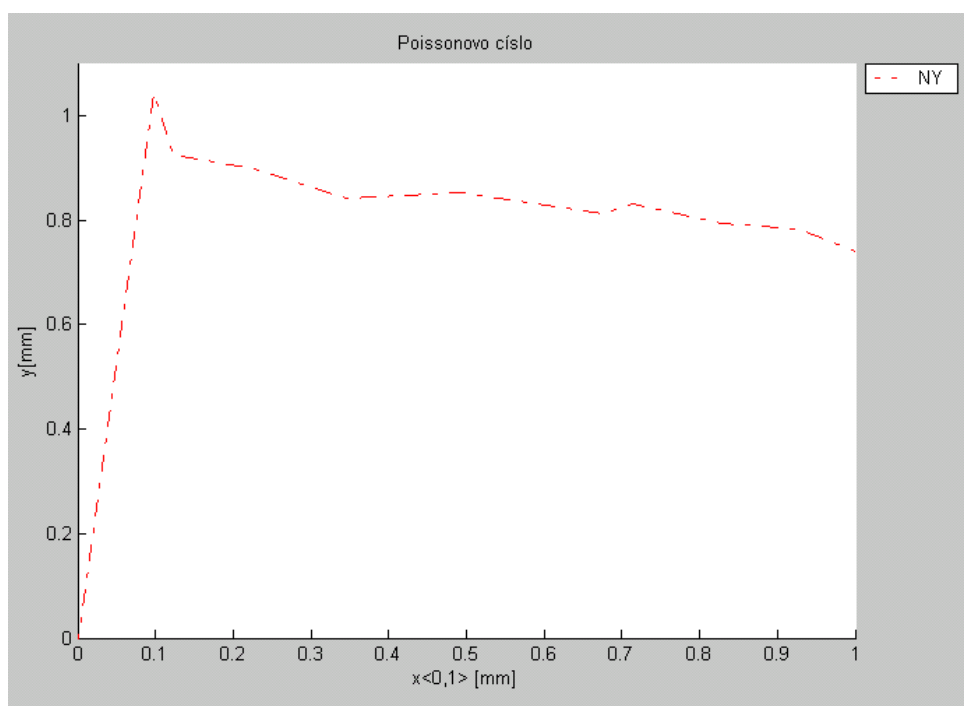
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



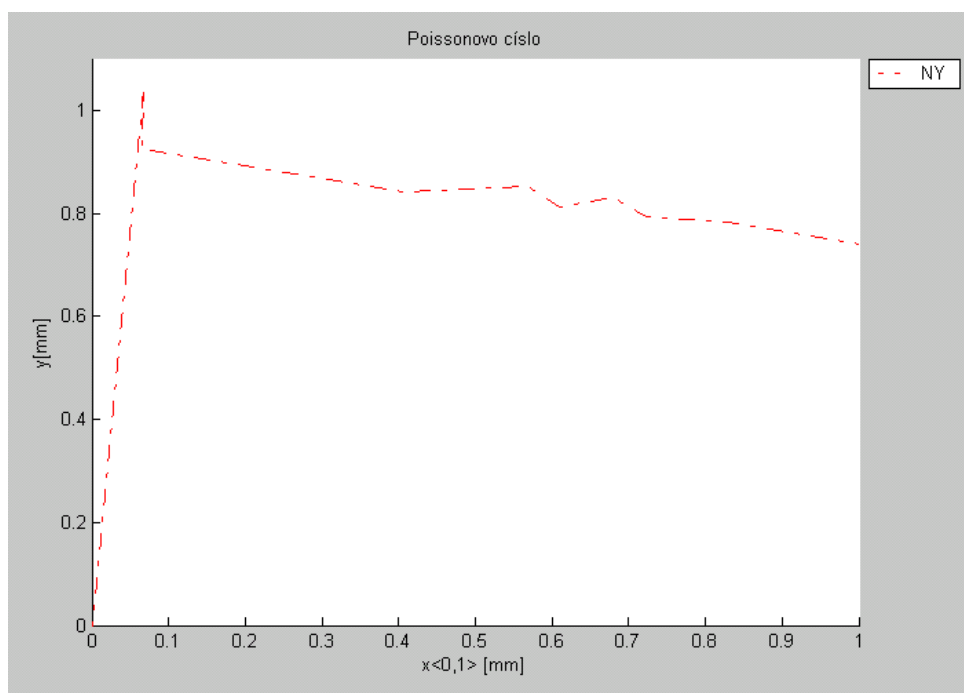
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



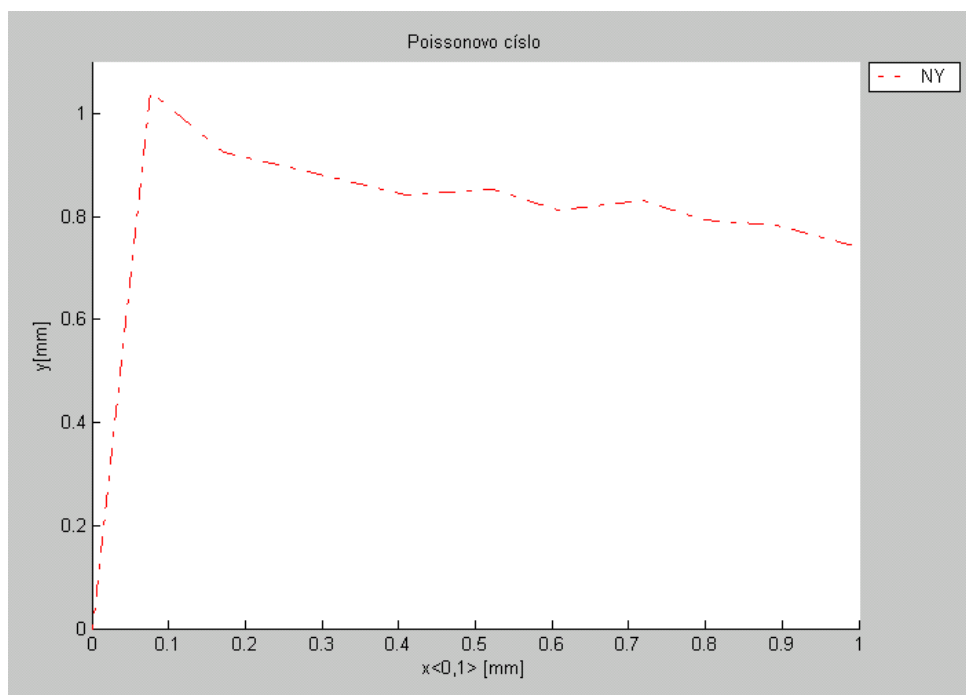
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°



U vzorků uniaxiálně zatěžovaných s rostoucím namáháním roste také Poissonovo číslo. V případě namáhání ve směru osnovy nebo útku hodnota dosahuje až hodnoty 1. U vzorků zatěžovaných pod úhlem hodnoty také rostou, ale ne do takové výše.

V případě namáhání biaxiálního je situace opačná. Nejvyšší hodnotu má malé zatížení a se zvyšováním síly namáhání Poissonovo číslo klesá. Není zde však tak velký rozdíl pokud se jedná o namáhání ve směru osnovy, útku nebo namáhání pod úhlem.

3.7.2 Změna úhlu polohy hlavní osy anizotropie

Tabulka 16 – Hodnoty úhlu polohy hlavní osy anizotropie při uniaxiálním namáhání

| zatížení | uniaxiální 0° | uniaxiální 30° | uniaxiální 45° | uniaxiální 60° | uniaxiální 90° |
|----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0.60442 | 0.57833 | 0.94173 | 0.56412 | 0.5321 |
| 10 | 0.61781 | 0.54588 | 0.79576 | 0.78317 | 0.54188 |
| 20 | 0.67454 | -0.15188 | 1.0593 | 1.7637 | 0.53418 |
| 40 | 0.47274 | -2.0035 | 3.137 | 3.3734 | 0.54854 |
| 60 | 0.59793 | -3.5512 | 0.78396 | 4.202 | 0.37125 |
| 80 | 0.60465 | -4.5132 | 0.84619 | 4.9474 | 0.36582 |
| 100 | 0.5289 | -4.5397 | 0.84104 | 5.4758 | 0.31451 |
| 120 | 0.74468 | -5.0038 | 0.82963 | 6.0087 | 0.34706 |
| 140 | 0.72293 | -4.7806 | 0.66525 | 6.5846 | 0.3871 |
| 160 | 0.7523 | | | | 0.33081 |
| 180 | 0.64324 | | | | 0.35658 |

Úhel polohy hlavní osy anizotropie se při namáhání vzorku v jednom směru téměř konstantní a jeho hodnota se pohybuje okolo nuly. Toto platí pro vzorky namáhané po úhlem 0°, 45°, 90°. Při namáhání vzorku pod úhlem 45° silou 40N se hodnota velmi liší. Tato výchylka může být způsobena nepřesným nastavením síly, kterou byl vzorek namáhan. Pokud byl vzorek namáhan pod úhlem 30°, úhel se zmenšoval. Opačná situace nastala při zatěžování vzorků namáhaných pod úhlem 60°.

Tabulka 17 – Hodnoty úhlu polohy hlavní osy anizotropie při biaxiálním namáhání

| zatížení | biaxiální 0° | biaxiální 30° | biaxiální 45° | biaxiální 60° | biaxiální 90° |
|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | | 38.047 | 38.069 | 37.982 | |
| 10 | 37.902 | 38.093 | 38.039 | 37.954 | 38.007 |
| 20 | 38.001 | 38.204 | 38.09 | 37.887 | 38.03 |
| 40 | 37.952 | 38.387 | 38.054 | 37.758 | 37.994 |
| 60 | 37.919 | 38.552 | 38.077 | 37.654 | 38.016 |
| 80 | 37.924 | 38.683 | 38.185 | 37.569 | 38.008 |
| 100 | 37.905 | 38.793 | 38.15 | 37.475 | 38.002 |
| 120 | 37.932 | 38.874 | 38.181 | 37.411 | 38 |
| 140 | 37.961 | 38.97 | 38.202 | 37.366 | 38.025 |
| 160 | 37.897 | 39.027 | 38.218 | 37.342 | 38.001 |
| 180 | 37.913 | | | | 38.03 |

Při biaxiálním namáhání vzorků ve směru osnovy, útku a vzorků pod úhlem 45° se poloha hlavní osy anizotropie při zvyšování zatížení namáhání téměř nemění. Při zatěžování vzorku vystřiženého pod úhlem 30° se úhel ω zvětšil téměř o jeden stupeň a naopak u vzorku zhotoveného pod úhlem 60° se tento úhel zmenšil.

3.7.3 Ostatní výsledné hodnoty

Při vyhodnocování byly zhotoveny další grafy a hodnoty, které jsou uvedeny v příloze této diplomové práce. Všechny přílohy včetně naměřených hodnot souřadnic těžišť a sestavených programků, pomocí kterých byla vyhodnocována tato data jsou na CD, které je přiloženo diplomové práci. Programky je možné otevřít v programu Matlab.

V příloze 1 jsou uvedeny tabulky se souřadnicemi těžišť bodů všech namáhaných vzorků. Z těchto hodnot byly spočteny průměrné hodnoty uvedené v experimentální části v tabulkách 4 – 13.

Příloha 2 obsahuje tabulky hodnot Poissonova čísla pro jednotlivá namáhání. Vykreslené grafy Poissonova čísla jsou uvedeny jak v experimentální části diplomové práce- graf 1- 10, tak v příloze 3.

Grafy rozdílů souřadnic pro naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 4. a grafy průběhu posuvů jednotlivých bodů v příloze 5.

V příloze 6 jsou grafy spojení jednotlivých bodů – kontrola pořadí bodů.

Grafy složek Cauchyho tenzoru poměrných sil, dvoučárkované, jednočárkované jsou zaznamenány v příloze 7, 8, 9.

Grafy modulů pružnosti jsou v příloze 10.

4. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověřit chování biaxiálně namáhané tkaniny v obecném směru. Vzorky byly zatěžovány pomocí přípravku pro biaxiální namáhání postupně se zvyšujícím se zatížením. Změny zaznamenané pomocí fotoaparátu byly přehrány do PC a dále zpracovány pomocí programu Matlab.

Průběh experimentu nebyl zcela ideální, jelikož bylo velmi obtížné zajistit stejné podmínky, zejména osvětlení pro všechny vzorky při snímání obrazu čtyř bodů namáhaných vzorků. Tento nedostatek způsobil obtíže při převádění oříznutého vzorku do binárního obrazu. Také označení směru osnovy, útku a jiné popisky se ukázaly jako nežádoucí.

Výsledné hodnoty byly spočteny z průměrných hodnot jednotlivých vzorků vždy pro jeden určitý úhel zatěžování. Tyto hodnoty byly porovnány jak pro různé úhly, tak pro namáhání uniaxiální a biaxiální.

V průběhu uniaxiálního zatěžování Poissonovo číslo se zvyšujícím se namáháním rostlo, naopak při biaxiálním namáhání nabývalo nejvyšší hodnotu při malém namáhání a při dalším zvyšování namáhání Poissonovo číslo klesalo.

Při porovnání polohy úhlů ω hlavních os anizotropie s osou zatěžování 11 je zřejmé, že tato hodnota se mění velmi nepatrně pokud bylo namáhání realizováno ve směru útku, osnovy nebo pod úhlem 45° . Toto platí jak pro namáhání uniaxiální, tak pro biaxiální.

Při srovnání těchto hodnot pro zatěžování pod úhlem 30° , docházelo u uniaxiálního namáhání ke snižování hodnoty tohoto čísla. Při zátěži pod úhlem 60° se hodnota zvyšovala. V případě biaxiálního namáhání docházelo k jevu opačnému. Rozdíly však nebyly tak výrazné jako u uniaxiálního namáhání.

Výsledky měření byly ovlivněny negativními vlivy v průběhu celého měření, které nebylo možno vyloučit. Pro větší přesnost měření by bylo vhodné zajistit stejné výchozí podmínky při měření, jako je osvětlení, počáteční vypnutí vzorku, které v tomto případě bylo stanoveno vypínáním vzorku tak, aby byl jeho počáteční rozměr 10×10 cm. Zde by bylo vhodnější použít senzor napětí. Také by bylo vhodné přesnější zakreslení bodů na vzorky. Velikost bodu by měla být co nejmenší a nejlépe kruhového tvaru, aby bylo možné získat co nejpresnější souřadnice bodů. Ideálně by byl bod zakreslen na jednu

nit. V tomto případě by bylo také nutné zaměnit zařízení na snímání obrazu za takové, které by tento malý bod bylo schopno rozlišit.

Závěrem lze shrnout, že použitá metodika není dostatečně přesná a proto nemusí být naměřené hodnoty zcela optimální. Větší přesnost by také vneslo proměření většího množství vzorků.

V této diplomové práci byly posuzovány vzorky zhotovené na tkacím stroji K 58. Bylo by jistě zajímavé porovnat mechanické vlastnosti biaxiálně namáhané tkaniny se stejnými parametry u vzorků zhotovených na různých tkacích strojích.

5. Použitá literatura

- [1] Talavášek, O.: Tkalcovská příruka; SNTL – Praha 1980
- [2] Plívová, H.: Vliv provázání dostavy na tvar (průřez) nití ve střídě vazby u tkanin bavlněných v relaxovaném stavu; diplomová práce; TU v Liberci 2001
- [3] Nosek, S.: Struktura a geometrie tkanin; VÚB Ústí nad Orlicí 1974
- [4] Stříž, B.: Anizotropie vlastností dvouose namáhaných textilií; Strutex; TU v Liberci 1998
- [5] Kovář, R.: Tažnost tkaniny; Strutex; TU v Liberci 2001
- [6] Divišová, K.: Vliv provázání nití (obdelníkové střídý) ve tkanině na chování tkaniny při dvouosém namáhání; diplomová práce; TU v Liberci 2003
- [7] Matoušková, T.: Vliv změny dostavy útku ve tkanině na chování tkaniny při dvouosém namáhání; diplomová práce; TU v Liberci 2003
- [8] Stříž, B.: Mechanika textilií část 1. základy mechaniky kontinua, TU v Liberci 2001
- [9] Stříž, B.: Mechanika textilií část 2. Aplikace mechaniky kontinua; TU v Liberci 2003
- [10] Adamíková, R.: Vliv provázání nití (čtvercové střídý) ve tkanině na chování tkaniny při dvouosém namáhání; diplomová práce; TU v Liberci 2002
- [11] Livorová, H.: Vliv jemnosti na mechanické vlastnosti tkaniny; diplomová práce; TU v Liberci 2001
- [12] Labíková, H.: Vliv dostavy útku na mechanické vlastnosti tkaniny; diplomová práce; TU v Liberci 2001
- [13] Sodomka, L; Váňová, L.: Anizotropie struktury a mechanických vlastností tkanin a rounin za využití akustické emise; Strutex; TU v Liberci 2002

6. Použité zkratky:

| | |
|---|--|
| D_o [0,1 m ⁻¹] | dostava osnovních nití |
| D_u [0,1 m ⁻¹] | dostava útkových nití |
| G [gm ⁻²] | plošná hmotnost tkaniny |
| T_o [tex] | jemnost osnovních nití |
| T_u [tex] | jemnost útkových nití |
| s_o [1] | setkání osnovních nití |
| s_u [1] | setkání útkových nití |
| A | rozestup útkových nití |
| B | rozestup útkových nití |
| K_1 | stupeň zakrytí osnovou |
| K_2 | stupeň zakrytí útkem |
| K | celkový stupeň zakrytí |
| Z | pravý zákrut |
| S | levý zákrut |
| T [tex] | jemnost příze |
| m_p [g] | hmotnost příze |
| L [km] | délka příze |
| d [mm] | průměr příze |
| $d_{\text{subst.}}$ | substanční průměr příze |
| ρ_v [kgm ⁻³] | hustota vláken |
| μ | zaplnění příze |
| S_v [mm ²] | souhrnná plocha vláken |
| V | objem vláken |
| V_c | celkový objem vláken |
| P [mm ²] | souhrnná plocha řezných plošek jednotlivých vláken |
| P_c [mm ²] | celková plocha řezu útvaru |
| Z | počet zákrutů |
| n [min ⁻¹] | počet otáček krutného orgánu |
| v [m min ⁻¹] | obvodová rychlost podávacího ústrojí |
| α [ktex ^{1/2} m ⁻¹] | součinitel zákrutu |

| | |
|---|---|
| α_p [$\text{ktex}^{2/3} \text{ m}^{-1}$] | součinitel zákrutu |
| σ [N m^{-2}] | napětí |
| ε [1] | poměrné prodloužení |
| E [Pa] | modul pružnosti |
| S [m^2] | plocha na kterou síla působí |
| δ_1 [m] | prodloužení vzorku |
| l_0 [m] | upínací délka |
| η | poměrné příčné zkrácení |
| p | číslo bodu |
| o | označení Lagrangeovy souřadnice |
| S_B | Biotův symetrický tenzor napětí |
| Δ | tenzor protažení |
| R | tenzor rotace |
| $\bar{E}_{22}, \bar{E}_{12}$ | moduly rovinné napjatosti ve směrech x_1, x_2 |
| \bar{E}_4 | modul pružnosti ve smyku |
| σ_i | symetrický tenzor napětí |
| E_{ijkl} | symetrický tenzor elastických modulů |
| E_{kl} | symetrický tenzor deformace |
| CO | bavlna |
| \check{m} | číslo metrické |
| F | materiálový deformační gradient |
| ω | úhel, který svírá osa symetrie a anizotropie s osou zatěžování 11 |
| Σ | Cauchyho tenzor skutečných poměrných sil |
| ν | zobecnělé Poissonovo číslo |
| ν_{12}, ν_{21} | Poissonova čísla určená jednoosými napjatostmi |
| F_a | síla, kterou byly vzorky postupně zatěžovány. |

Přílohy

Příloha 1

Tabulky se souřadnicemi těžišť bodů namáhaných vzorků

Tabulky se souřadnicemi těžišť bodů namáhaných vzorků

Tabulka 1 – Vzorek 1 – uniaxiální namáhání -0°- po osnově

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,8324 | 10,636 | -10,307 | 10,108 | -10,136 | -10,438 | 10,61 | -10,06 |
| 10 | 9,9005 | 10,547 | -10,363 | 10,094 | -10,203 | -10,364 | 10,65 | -10,277 |
| 20 | 9,9939 | 10,506 | -10,441 | 10,061 | -10,284 | -10,298 | 10,731 | -10,27 |
| 40 | 10,126 | 10,418 | -10,569 | 9,988 | -10,408 | -10,198 | 10,851 | -10,209 |
| 60 | 10,222 | 10,316 | -10,746 | 9,9007 | -10,527 | -10,137 | 11,052 | -10,08 |
| 80 | 10,296 | 10,202 | -10,822 | 9,8004 | -10,64 | -10,013 | 11,166 | -9,9897 |
| 100 | 10,376 | 10,096 | -10,917 | 9,6955 | -10,714 | -9,8943 | 11,255 | -9,8972 |
| 120 | 10,435 | 9,9887 | -10,992 | 9,5995 | -10,766 | -9,8062 | 11,323 | -9,782 |
| 140 | 10,489 | 9,9128 | -11,073 | 9,5818 | -10,776 | -9,7306 | 11,361 | -9,7639 |
| 160 | 10,529 | 9,8426 | -11,123 | 9,4692 | -10,806 | -9,6271 | 11,399 | -9,6846 |
| 180 | 10,524 | 9,7855 | -11,125 | 9,4261 | -10,839 | -9,5849 | 11,44 | -9,6266 |
| 200 | 10,569 | 9,7682 | -11,152 | 9,3901 | -10,912 | -9,5555 | 11,495 | -9,6028 |
| 0 | 10,091 | 10,319 | -10,648 | 9,8743 | -10,353 | -1,162 | 10,91 | -10,031 |

Tabulka 2 – Vzorek 2 – uniaxiální namáhání -0°- po osnově

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,009 | 10,55 | -10,392 | 9,6994 | -10,392 | -10,303 | 10,591 | -9,9466 |
| 10 | 10,025 | 10,556 | -10,397 | 9,6696 | -10,397 | -10,251 | 10,607 | -9,9747 |
| 20 | 10,056 | 10,546 | -10,445 | 9,6573 | -10,445 | -10,277 | 10,638 | -9,9257 |
| 40 | 10,165 | 10,443 | -10,567 | 9,6121 | -10,567 | -10,187 | 10,768 | -9,8679 |
| 60 | 10,278 | 10,349 | -10,731 | 9,4874 | -10,731 | -10,042 | 10,907 | -9,794 |
| 80 | 10,396 | 10,204 | -10,83 | 9,3963 | -10,83 | -9,9279 | 11,005 | -9,6721 |
| 100 | 10,427 | 10,11 | -10,938 | 9,3015 | -10,938 | -9,81 | 11,135 | -9,6015 |
| 120 | 10,51 | 10,024 | -10,937 | 9,2322 | -10,937 | -9,715 | 11,115 | -9,5408 |
| 140 | 10,531 | 9,9524 | -11,043 | 9,2021 | -11,043 | -9,6727 | 11,299 | -9,4818 |
| 160 | 10,558 | 9,8904 | -11,074 | 9,154 | -11,074 | -9,6044 | 11,314 | -9,44 |
| 180 | 10,645 | 9,8402 | -11,107 | 9,0785 | -11,107 | -9,5505 | 11,309 | -9,3682 |
| 200 | 10,665 | 9,8224 | -11,162 | 9,0481 | -11,162 | -9,5521 | 11,363 | -9,3184 |
| 0 | 10,234 | 10,379 | -10,694 | 9,5722 | -10,694 | -10,1 | 10,913 | -9,8515 |

Tabulka 3 – Vzorek 3– uniaxiální namáhání -0°- po osnově

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,7139 | 9,8162 | -10,637 | 10,144 | -9,6888 | -10,169 | 10,612 | -9,7915 |
| 10 | 9,6503 | 10,174 | -10,591 | 9,934 | -9,9555 | -10,32 | 10,896 | -9,7876 |
| 20 | 9,719 | 10,096 | -10,7 | 9,9546 | -9,9435 | -10,279 | 10,925 | -9,7712 |
| 40 | 9,755 | 10,035 | -10,721 | 9,9224 | -9,9428 | -10,25 | 10,909 | -9,7073 |
| 60 | 9,8659 | 9,9674 | -10,827 | 9,8261 | -10,105 | -10,193 | 11,066 | -9,6003 |
| 80 | 9,9722 | 9,9121 | -10,926 | 9,7725 | -10,191 | -10,097 | 11,144 | -9,5874 |
| 100 | 9,9756 | 9,8354 | -10,963 | 9,6301 | -10,212 | -9,987 | 11,198 | -9,4785 |
| 120 | 10,069 | 9,7445 | -11,098 | 9,5564 | -10,365 | -9,9123 | 11,394 | -9,3885 |
| 140 | 9,9886 | 9,6811 | -11,057 | 9,555 | -10,285 | -9,8584 | 11,353 | -9,778 |
| 160 | 10,104 | 9,6158 | -11,096 | 9,4788 | -10,365 | -9,7858 | 11,357 | -9,3087 |
| 180 | 10,19 | 9,5899 | -11,17 | 9,4582 | -10,304 | -9,7193 | 11,283 | -9,88 |
| 200 | 10,243 | 9,5279 | -11,246 | 9,4056 | -10,488 | -9,7073 | 11,491 | -9,262 |
| 0 | 9,8165 | 10,13 | -10,746 | 9,9098 | -10,072 | -10,259 | 11,001 | -9,805 |

Tabulka 4 – Vzorek 4 – uniaxiální namáhání -0°- po osnově

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,302 | 10,255 | -10,662 | 9,779 | -9,946 | -10,256 | 10,307 | -9,7773 |
| 10 | 10,397 | 10,239 | -10,682 | 9,7259 | -9,9998 | -10,164 | 10,285 | -9,8012 |
| 20 | 10,522 | 10,318 | -10,678 | 9,6919 | -10,072 | -10,16 | 10,228 | -9,8506 |
| 40 | 10,483 | 10,105 | -10,777 | 9,7021 | -10,047 | -10,096 | 10,341 | -9,7111 |
| 60 | 10,641 | 10,09 | -11,029 | 9,578 | -10,105 | -9,9221 | 10,492 | -9,7459 |
| 80 | 10,768 | 9,9528 | -11,089 | 9,4197 | -10,212 | -9,8112 | 10,532 | -9,5614 |
| 100 | 10,799 | 9,8185 | -11,192 | 9,3978 | -10,267 | -9,7671 | 10,66 | -9,4493 |
| 120 | 10,81 | 9,7118 | -11,351 | 9,3063 | -10,3 | -9,6734 | 10,84 | -9,3448 |
| 140 | 10,927 | 9,6148 | -11,3 | 9,2328 | -10,407 | -9,4445 | 10,781 | -9,4031 |
| 160 | 10,948 | 9,5176 | -11,344 | 9,2033 | -10,455 | -9,4252 | 10,851 | -9,2957 |
| 180 | 10,986 | 9,4688 | -11,453 | 9,1669 | -10,464 | -9,3959 | 10,931 | -9,2397 |
| 200 | 10,866 | 9,3487 | -11,403 | 9,116 | -10,502 | -9,3027 | 11,038 | -9,1619 |
| 0 | 10,615 | 10,007 | -10,951 | 9,5824 | -10,092 | -9,975 | 10,428 | -9,6144 |

Tabulka 5 – Vzorek 5 – uniaxiální namáhání -0°- po osnově

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,031 | 10,389 | -10,448 | 9,7268 | -10,105 | -9,8463 | 10,522 | -10,269 |
| 10 | 10,096 | 10,112 | -10,456 | 9,7723 | -10,197 | -9,7263 | 10,558 | -10,157 |
| 20 | 10,112 | 10,095 | -10,545 | 9,7657 | -10,184 | -9,7378 | 10,617 | -10,123 |
| 40 | 10,185 | 10,03 | -10,599 | 9,7255 | -10,239 | -9,68 | 10,653 | -10,075 |
| 60 | 10,3 | 10,1 | -10,728 | 9,5217 | -10,404 | -9,6083 | 10,832 | -10,013 |
| 80 | 10,329 | 9,7933 | -10,856 | 9,5046 | -10,429 | -9,4442 | 10,956 | -9,8537 |
| 100 | 10,53 | 9,6738 | -10,945 | 9,4084 | -10,602 | -9,2994 | 11,017 | -9,7828 |
| 120 | 10,527 | 9,6235 | -10,998 | 9,3714 | -10,621 | -9,2792 | 11,091 | -9,7156 |
| 140 | 10,574 | 9,5334 | -11,029 | 9,2534 | -10,714 | -9,0857 | 11,17 | -9,7011 |
| 160 | 10,631 | 9,6178 | -11,063 | 9,2776 | -10,729 | -9,2114 | 11,161 | -9,684 |
| 180 | 10,691 | 9,6015 | -11,032 | 9,0889 | -10,81 | -9,0695 | 11,151 | -9,6208 |
| 200 | 10,657 | 9,4308 | -11,137 | 9,1164 | -10,759 | -9,0266 | 11,239 | -9,5207 |
| 0 | 10,231 | 9,9735 | -10,741 | 9,607 | -10,321 | -9,609 | 10,832 | -9,9715 |

Tabulka 6 – Vzorek 1 – uniaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,296 | 10,002 | -10,318 | 10,002 | -10,257 | -10,443 | 10,28 | -9,388 |
| 5 | 10,344 | 9,9692 | -10,353 | 9,9692 | -10,306 | -10,401 | 10,315 | -9,3573 |
| 10 | 10,462 | 9,8747 | -10,413 | 9,8747 | -10,451 | -10,323 | 10,403 | -9,2433 |
| 20 | 10,782 | 9,6614 | -10,68 | 9,6614 | -10,799 | -10,168 | 10,697 | -8,7786 |
| 40 | 11,3 | 9,4498 | -11,091 | 9,4498 | -11,295 | -9,9634 | 11,086 | -7,9881 |
| 60 | 11,577 | 9,343 | -11,331 | 9,343 | -11,63 | -9,8471 | 11,383 | -7,3389 |
| 80 | 11,816 | 9,2959 | -11,479 | 9,2959 | -11,855 | -9,7594 | 11,518 | -6,9788 |
| 100 | 12,013 | 9,2392 | -11,599 | 9,2392 | -12,101 | -9,6761 | 11,688 | -6,6453 |
| 120 | 12,245 | 9,1735 | -11,704 | 9,1735 | -12,319 | -9,5913 | 11,778 | -6,2976 |
| 140 | 12,374 | 9,1072 | -11,67 | 9,1072 | -12,589 | -9,4761 | 11,885 | -6,1799 |
| 0 | 11,364 | 9,4644 | -10,668 | 9,4644 | -11,492 | -9,8409 | 10,795 | -8,7466 |

Tabulka 7 – Vzorek 2 – uniaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,005 | 9,7726 | -10,167 | 10,152 | -9,8621 | -9,9652 | 10,024 | -9,9596 |
| 5 | 10,158 | 9,6629 | -10,286 | 10,004 | -10,004 | -9,8443 | 10,132 | -9,823 |
| 10 | 10,338 | 9,5552 | -10,444 | 9,7903 | -10,15 | -9,7234 | 10,256 | -9,6221 |
| 20 | 10,704 | 9,3542 | -10,721 | 9,2671 | -10,551 | -9,485 | 10,568 | -9,1363 |
| 40 | 11,202 | 9,1443 | -11,12 | 8,414 | -11,002 | -9,2467 | 10,919 | -8,3116 |
| 60 | 11,523 | 9,0462 | -11,344 | 7,7958 | -11,32 | -9,0672 | 11,142 | -7,7749 |
| 80 | 11,808 | 8,9596 | -11,488 | 7,3557 | -11,617 | -9,036 | 11,297 | -7,2793 |
| 100 | 12,12 | 8,8947 | -11,492 | 7,1022 | -11,754 | -8,9563 | 11,126 | -7,0405 |
| 120 | 12,321 | 8,807 | -11,749 | 6,7797 | -11,982 | -8,9397 | 11,409 | -6,6469 |
| 140 | 12,522 | 8,6785 | -11,788 | 6,6678 | -12,146 | -8,8958 | 11,411 | -6,4505 |
| 0 | 11,392 | 8,9997 | -10,667 | 9,4059 | -11,03 | -9,0614 | 10,305 | -9,3441 |

Tabulka 8 – Vzorek 3 – uniaxiální namáhání - 30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 9,7367 | 10,12 | -9,7155 | 9,9989 | -10,43 | -10,113 | 10,409 | -10,006 |
| 5 | 9,86 | 9,9654 | -9,8274 | 9,8837 | -10,561 | -9,9896 | 10,528 | -9,8594 |
| 10 | 10,003 | 9,8485 | -9,9149 | 9,7427 | -10,734 | -9,8801 | 10,647 | -9,7111 |
| 20 | 10,32 | 9,6528 | -10,168 | 9,3531 | -11,071 | -9,7284 | 10,919 | -9,2775 |
| 40 | 10,886 | 9,4033 | -10,643 | 8,4932 | -11,633 | -9,5365 | 11,39 | -8,36 |
| 60 | 11,218 | 9,2727 | -10,911 | 7,8941 | -11,998 | -9,3995 | 11,691 | -7,7673 |
| 80 | 11,464 | 9,1659 | -11,088 | 7,4403 | -12,293 | -9,3069 | 11,917 | -7,2993 |
| 100 | 11,666 | 9,062 | -11,186 | 7,1217 | -12,5 | -9,2336 | 12,02 | -6,9502 |
| 120 | 11,895 | 9,0109 | -11,311 | 6,789 | -12,734 | -9,1724 | 12,15 | -6,6275 |
| 140 | 12,106 | 8,9183 | -11,359 | 6,5531 | -12,971 | -9,0951 | 12,223 | -6,3763 |
| 0 | 10,715 | 9,5974 | -10,029 | 9,4735 | -11,5 | -9,6652 | 10,815 | -9,4058 |

Tabulka 9 – Vzorek 4 – uniaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,809 | 9,6865 | -10,841 | 10,595 | -9,762 | -10,198 | 9,7941 | -10,083 |
| 5 | 11,086 | 9,5028 | -11,113 | 10,346 | -9,9822 | -9,9807 | 10,009 | -9,8679 |
| 10 | 11,296 | 9,3476 | -11,275 | 10,053 | -10,211 | -9,8096 | 10,19 | -9,5908 |
| 20 | 11,689 | 9,2293 | -11,663 | 9,4092 | -10,527 | -9,6413 | 10,501 | -8,9972 |
| 40 | 12,237 | 9,0981 | -12,166 | 8,3146 | -11,033 | -9,4186 | 10,963 | -7,9941 |
| 60 | 12,611 | 8,9763 | -12,437 | 7,6839 | -11,379 | -9,2458 | 11,206 | -7,4144 |
| 80 | 12,867 | 8,9082 | -12,561 | 7,2604 | -11,65 | -9,1648 | 11,345 | -7,0037 |
| 100 | 13,185 | 8,8117 | -12,607 | 6,9467 | -12,007 | -9,0118 | 11,429 | -6,7466 |
| 120 | 13,358 | 8,7408 | -12,65 | 6,7239 | -12,214 | -8,9274 | 11,505 | -6,5373 |
| 140 | 13,59 | 8,6602 | -12,789 | 6,471 | -12,392 | -8,8437 | 11,591 | -6,2875 |
| 0 | 12,318 | 8,9423 | -11,52 | 9,6129 | -11,123 | -9,3292 | 10,325 | -9,226 |

Tabulka 10 – Vzorek 5 – uniaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,8538 | 10,398 | -10,316 | 9,9515 | -10,174 | -10,12 | 10,637 | -10,229 |
| 5 | 10,008 | 10,296 | -10,503 | 9,8626 | -10,263 | -10,02 | 10,758 | -10,139 |
| 10 | 10,135 | 10,177 | -10,586 | 9,731 | -10,41 | -9,9089 | 10,86 | -9,9988 |
| 20 | 10,494 | 9,9615 | -10,867 | 9,285 | -10,735 | -9,6771 | 11,109 | -9,5695 |
| 40 | 11,051 | 9,6111 | -11,316 | 8,5013 | -11,257 | -9,3621 | 11,522 | -8,7503 |
| 60 | 11,446 | 9,4192 | -11,611 | 7,7666 | -11,677 | -9,1946 | 11,842 | -7,9912 |
| 80 | 11,695 | 9,2668 | -11,804 | 7,3541 | -11,893 | -9,0754 | 12,002 | -7,5454 |
| 100 | 11,866 | 9,1781 | -11,879 | 7,184 | -12,102 | -8,9866 | 12,116 | -7,3754 |
| 120 | 12,108 | 9,0983 | -11,911 | 6,8784 | -12,339 | -8,8398 | 12,142 | -7,1369 |
| 140 | 12,285 | 9,0033 | -11,913 | 6,6424 | -12,561 | -8,7352 | 12,189 | -6,9106 |
| 0 | 10,963 | 9,7992 | -10,603 | 9,4855 | -11,258 | -9,5438 | 10,898 | -9,7409 |

Tabulka 11 – Vzorek 2 – uniaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,172 | 10,307 | -10,222 | 10,199 | -9,2746 | -10,217 | 9,3255 | -10,289 |
| 5 | 10,264 | 10,083 | -10,403 | 9,9086 | -9,4654 | -9,8681 | 9,6053 | -10,124 |
| 10 | 10,869 | 9,2968 | -11,144 | 9,1863 | -10,277 | -9,2519 | 10,552 | -9,2313 |
| 20 | 11,975 | 8,0942 | -12,085 | 8,236 | -11,16 | -8,242 | 11,27 | -8,0882 |
| 40 | 13,063 | 7,0541 | -12,934 | 7,4611 | -11,928 | -7,3042 | 11,799 | -7,211 |
| 60 | 13,077 | 6,7544 | -13,179 | 6,8926 | -12,212 | -6,9492 | 12,314 | -6,6978 |
| 80 | 13,552 | 6,2859 | -13,499 | 6,4573 | -12,623 | -6,5692 | 12,57 | -6,1741 |
| 100 | 13,816 | 5,8109 | -13,736 | 6,0818 | -12,897 | -6,1617 | 12,817 | -5,7309 |
| 120 | 13,732 | 5,7502 | -13,791 | 5,9122 | -12,958 | -6,0665 | 13,017 | -5,5959 |
| 140 | 13,913 | 5,6507 | -13,801 | 5,8159 | -13,128 | -5,9696 | 13,017 | -5,4969 |
| 0 | 11,137 | 9,4307 | -11,013 | 9,6268 | -10,095 | -9,4467 | 9,9716 | -9,6109 |

Tabulka 12 - Vzorek 3 – uniaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,8696 | 9,8638 | -9,9606 | 9,8278 | -9,9033 | -10,115 | 9,9942 | -9,5761 |
| 5 | 10,384 | 9,4659 | -10,431 | 9,5614 | -10,287 | -9,7101 | 10,334 | -9,3171 |
| 10 | 11,048 | 8,7331 | -11,096 | 8,812 | -10,922 | -8,9311 | 10,969 | -8,6139 |
| 20 | 11,873 | 7,7272 | -11,989 | 7,9114 | -11,736 | -8,0141 | 11,852 | -7,6246 |
| 40 | 12,33 | 7,2101 | -12,439 | 7,3185 | -12,182 | -7,4936 | 12,292 | -7,0351 |
| 60 | 12,742 | 6,6382 | -12,562 | 6,9088 | -12,701 | -7,0033 | 12,521 | -6,5437 |
| 80 | 12,973 | 6,2805 | -12,84 | 6,5628 | -12,948 | -6,6621 | 12,815 | -6,1813 |
| 100 | 13,14 | 6,0947 | -13,038 | 6,3475 | -13,13 | -6,4809 | 13,027 | -5,9613 |
| 120 | 13,355 | 5,7605 | -13,143 | 6,0749 | -13,439 | -6,1387 | 13,227 | -5,6967 |
| 140 | 13,528 | 5,6901 | -13,473 | 5,9625 | -13,414 | -6,05 | 13,359 | -5,6026 |
| 0 | 11,737 | 7,7851 | -11,802 | 7,804 | -11,664 | -7,9982 | 11,728 | -7,5909 |

Tabulka 13 – Vzorek 5 – uniaxiální namáhání 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,8679 | 9,9799 | -10,474 | 11,047 | -10,003 | -10,473 | 10,608 | -10,554 |
| 5 | 10,405 | 9,5589 | -10,882 | 10,54 | -10,361 | -9,9357 | 10,838 | -10,163 |
| 10 | 10,981 | 9,1469 | -11,392 | 9,9596 | -10,754 | -9,4856 | 11,164 | -9,6208 |
| 20 | 11,536 | 8,384 | -12,035 | 9,0814 | -11,56 | -8,7035 | 12,06 | -8,7619 |
| 40 | 12,091 | 7,683 | -12,676 | 8,3451 | -11,992 | -8,063 | 12,578 | -7,9652 |
| 60 | 12,517 | 7,0946 | -13,106 | 7,8048 | -12,368 | -7,5835 | 12,957 | -7,3159 |
| 80 | 12,773 | 6,7918 | -13,343 | 7,3542 | -12,572 | -7,2518 | 13,143 | -6,8942 |
| 100 | 12,99 | 6,5643 | -13,62 | 7,1246 | -12,885 | -7,0047 | 13,515 | -6,6842 |
| 120 | 13,175 | 6,4125 | -13,7 | 6,9203 | -12,939 | -6,8747 | 13,465 | -6,4581 |
| 140 | 15,941 | 7,555 | -11,263 | 8,0298 | -9,8877 | -5,4383 | 16,265 | -4,8935 |
| 0 | 8,4174 | 11,687 | -13,082 | 12,739 | -12,918 | -7,9956 | 8,918 | -7,7228 |

Tabulka 14 – Vzorek 3 – uniaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,088 | 10,268 | -10,648 | 10,049 | -9,5407 | -10,401 | 10,101 | -9,9165 |
| 5 | 10,256 | 10,091 | -10,969 | 9,8398 | -9,7235 | -10,192 | 10,437 | -9,738 |
| 10 | 10,491 | 9,8047 | -11,25 | 9,6635 | -9,9287 | -9,9292 | 10,688 | -9,5391 |
| 20 | 10,806 | 9,2889 | -11,7 | 9,3885 | -10,241 | -9,45 | 11,135 | -9,2274 |
| 40 | 11,394 | 8,2661 | -12,398 | 8,9724 | -10,748 | -8,4355 | 11,752 | -8,803 |
| 60 | 11,719 | 7,5887 | -12,856 | 8,6412 | -11,058 | -7,817 | 12,195 | -8,413 |
| 80 | 11,885 | 7,1769 | -13,077 | 8,4836 | -11,232 | -7,412 | 12,424 | -8,2485 |
| 100 | 12,097 | 6,7486 | -13,35 | 8,2829 | -11,421 | -6,9963 | 12,674 | -8,0351 |
| 120 | 12,165 | 6,5893 | -13,521 | 8,2003 | -11,424 | -6,8521 | 12,78 | -7,9375 |
| 140 | 12,209 | 6,4246 | -13,605 | 8,1034 | -11,543 | -6,6773 | 12,94 | -7,8506 |
| 0 | 10,598 | 9,5057 | -11,863 | 9,4936 | -9,9908 | -9,7043 | 11,255 | -9,295 |

Tabulka 15 – Vzorek 4 – uniaxiální namáhání -60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,316 | 9,9011 | -10,511 | 10,036 | -9,7054 | -10,442 | 9,9011 | -9,3505 |
| 5 | 10,484 | 10,086 | -10,719 | 9,9309 | -9,8511 | -10,294 | 10,086 | -9,2318 |
| 10 | 10,704 | 10,287 | -10,949 | 9,7824 | -10,042 | -10,019 | 10,287 | -9,1101 |
| 20 | 11,215 | 10,843 | -11,542 | 9,4868 | -10,517 | -9,1993 | 10,843 | -8,8163 |
| 40 | 11,793 | 11,598 | -12,311 | 9,1291 | -11,08 | -8,0429 | 11,598 | -8,4426 |
| 60 | 12,035 | 11,907 | -12,667 | 8,8682 | -11,275 | -7,5883 | 11,907 | -8,1752 |
| 80 | 12,228 | 12,142 | -12,938 | 8,6908 | -11,432 | -7,1717 | 12,142 | -8,0317 |
| 100 | 12,373 | 12,305 | -13,137 | 8,5361 | -11,541 | -6,9763 | 12,305 | -7,8755 |
| 120 | 12,449 | 12,495 | -13,302 | 8,3995 | -11,642 | -6,7147 | 12,495 | -7,7323 |
| 140 | 12,591 | 12,6 | -13,485 | 8,3113 | -11,706 | -6,5347 | 12,6 | -7,6421 |
| 0 | 10,86 | 11,055 | -11,78 | 9,2904 | -10,135 | -9,7745 | 11,055 | -8,4897 |

Tabulka 16 – Vzorek 5 – uniaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,5614 | 10,024 | -9,6014 | 9,6471 | -10,266 | -9,9712 | 10,306 | -9,6994 |
| 5 | 9,7479 | 9,8085 | -9,8509 | 9,5019 | -10,412 | -9,8321 | 10,515 | -9,4783 |
| 10 | 9,9595 | 9,336 | -10,177 | 9,3539 | -10,737 | -9,3424 | 10,955 | -9,3475 |
| 20 | 10,402 | 8,6918 | -10,647 | 9,1341 | -11,112 | -8,6942 | 11,356 | -9,1317 |
| 40 | 10,774 | 7,9035 | -11,226 | 8,7656 | -11,534 | -7,9078 | 11,986 | -8,7614 |
| 60 | 11,028 | 7,3893 | -11,541 | 8,5376 | -11,785 | -7,3715 | 12,298 | -8,5554 |
| 80 | 11,161 | 7,0304 | -11,791 | 8,3332 | -11,938 | -7,0386 | 12,568 | -8,325 |
| 100 | 11,225 | 6,8438 | -11,962 | 8,2026 | -12,037 | -6,8397 | 12,774 | -8,2067 |
| 120 | 11,349 | 6,6476 | -12,119 | 8,1079 | -12,137 | -6,6625 | 12,907 | -8,093 |
| 140 | 11,345 | 6,4889 | -12,22 | 7,9777 | -12,214 | -6,4914 | 13,089 | -7,9751 |
| 0 | 9,646 | 9,8698 | -10,042 | 9,4343 | -10,275 | -10,029 | 10,671 | -9,2746 |

Tabulka 17 – Vzorek 1 – uniaxiální namáhání -90° - po útku

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 9,835 | 10,385 | -10,405 | 9,8467 | -9,7382 | -10,265 | 10,308 | -9,9666 |
| 5 | 9,8907 | 10,405 | -10,463 | 9,8513 | -9,8321 | -10,31 | 10,405 | -9,946 |
| 10 | 9,9655 | 10,372 | -10,561 | 9,8201 | -9,8863 | -10,263 | 10,481 | -9,9286 |
| 20 | 10,019 | 10,329 | -10,637 | 9,7608 | -9,9534 | -10,194 | 10,572 | -9,8957 |
| 40 | 10,111 | 10,258 | -10,733 | 9,7193 | -10,037 | -10,136 | 10,659 | -9,8406 |
| 60 | 10,166 | 10,178 | -10,82 | 9,6306 | -10,062 | -10,058 | 10,716 | -9,7508 |
| 80 | 10,221 | 10,141 | -10,843 | 9,5902 | -10,168 | -9,993 | 10,79 | -9,7378 |
| 100 | 10,246 | 10,116 | -10,922 | 9,552 | -10,149 | -9,9933 | 10,825 | -9,6742 |
| 120 | 10,283 | 10,096 | -10,96 | 9,5278 | -10,186 | -9,9723 | 10,864 | -9,6515 |
| 140 | 10,293 | 10,051 | -10,988 | 9,488 | -10,207 | -9,9195 | 10,902 | -9,6194 |
| 160 | 10,335 | 10,041 | -11,017 | 9,4495 | -10,266 | -9,8804 | 10,948 | -9,6099 |
| 180 | 10,351 | 10,026 | -11,067 | 9,4671 | -10,239 | -9,9141 | 10,955 | -9,5786 |
| 0 | 10,043 | 10,33 | -10,626 | 9,7253 | -9,9741 | -10,183 | 10,557 | -9,8721 |

Tabulka 18 – Vzorek 2 – uniaxiální namáhání - 90° - po útku

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9229 | 10,155 | -10,274 | 9,7698 | -9,9308 | -9,9905 | 10,282 | -9,9346 |
| 5 | 10,003 | 10,091 | -10,367 | 9,7394 | -9,9486 | -9,9498 | 10,312 | -9,8806 |
| 10 | 9,978 | 10,097 | -10,366 | 9,7324 | -9,9566 | -9,9274 | 10,345 | -9,9022 |
| 20 | 10,028 | 10,078 | -10,41 | 9,7099 | -9,9839 | -9,9016 | 10,366 | -9,8867 |
| 40 | 10,124 | 10,025 | -10,517 | 9,6744 | -10,097 | -9,859 | 10,489 | -9,8407 |
| 60 | 10,184 | 10,005 | -10,603 | 9,6099 | -10,169 | -9,8551 | 10,588 | -9,7596 |
| 80 | 10,26 | 9,9352 | -10,654 | 9,5381 | -10,219 | -9,7613 | 10,613 | -9,712 |
| 100 | 10,276 | 9,9048 | -10,702 | 9,5333 | -10,245 | -9,745 | 10,67 | -9,6931 |
| 120 | 10,356 | 9,8757 | -10,744 | 9,4923 | -10,314 | -9,7322 | 10,702 | -9,6358 |
| 140 | 10,36 | 9,8506 | -10,781 | 9,4259 | -10,353 | -9,6821 | 10,774 | -9,5944 |
| 160 | 10,407 | 9,9099 | -10,818 | 9,4394 | -10,401 | -9,7404 | 10,812 | -9,6089 |
| 180 | 10,465 | 9,803 | -10,854 | 9,4265 | -10,439 | -9,6522 | 10,828 | -9,5773 |
| 0 | 10,188 | 10,069 | -10,493 | 9,7285 | -10,155 | -9,916 | 10,461 | -9,8818 |

Tabulka 19 – Vzorek 3 – uniaxiální namáhání - 90° - po útku

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,048 | 10,126 | -10,854 | 9,9039 | -10,016 | -9,8768 | 10,822 | -10,153 |
| 5 | 10,036 | 10,115 | -10,888 | 9,8875 | -10,047 | -9,8715 | 10,9 | -10,131 |
| 10 | 10,096 | 10,092 | -10,928 | 9,884 | -10,081 | -9,8424 | 10,912 | -10,134 |
| 20 | 10,148 | 10,069 | -10,992 | 9,8576 | -10,12 | -9,8553 | 10,964 | -10,072 |
| 40 | 10,248 | 9,9982 | -11,074 | 9,8 | -10,249 | -9,7637 | 11,075 | -10,034 |
| 60 | 10,304 | 9,9379 | -11,166 | 9,7283 | -10,277 | -9,7146 | 11,138 | -9,9516 |
| 80 | 10,356 | 9,9169 | -11,196 | 9,693 | -10,346 | -9,6948 | 11,186 | -9,9151 |
| 100 | 10,386 | 9,8948 | -11,244 | 9,6285 | -10,375 | -9,6406 | 11,233 | -9,8827 |
| 120 | 10,44 | 9,8408 | -11,284 | 9,6256 | -10,427 | -9,6229 | 11,271 | -9,8434 |
| 140 | 10,491 | 9,8404 | -11,312 | 9,6201 | -10,479 | -9,615 | 11,3 | -9,8455 |
| 160 | 10,545 | 9,8274 | -11,364 | 9,6099 | -10,526 | -9,6255 | 11,345 | -9,8118 |
| 180 | 10,577 | 9,8076 | -11,404 | 9,5799 | -10,549 | -9,5747 | 11,375 | -9,8128 |
| 0 | 10,26 | 10,073 | -11,064 | 9,8743 | -10,259 | -9,8455 | 11,062 | -10,102 |

Tabulka 20 – Vzorek 4 – uniaxiální namáhání - 90° - po útku

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,068 | 10,466 | -11,084 | 10,436 | -9,8672 | -9,9309 | 10,884 | -10,971 |
| 5 | 10,088 | 10,43 | -11,098 | 10,374 | -9,8987 | -9,9216 | 10,909 | -10,883 |
| 10 | 10,1 | 10,44 | -11,154 | 10,369 | -9,9264 | -9,8826 | 10,981 | -10,927 |
| 20 | 10,194 | 10,359 | -11,3 | 10,454 | -10,015 | -9,9223 | 11,121 | -10,891 |
| 40 | 10,3 | 10,348 | -11,456 | 10,278 | -10,14 | -9,8455 | 11,296 | -10,781 |
| 60 | 10,376 | 10,334 | -11,554 | 10,134 | -10,194 | -9,8049 | 11,373 | -10,663 |
| 80 | 10,428 | 10,307 | -11,646 | 10,074 | -10,252 | -9,8383 | 11,47 | -10,543 |
| 100 | 10,486 | 10,308 | -11,682 | 9,9768 | -10,309 | -9,7519 | 11,505 | -10,533 |
| 120 | 10,515 | 10,246 | -11,732 | 9,984 | -10,351 | -9,743 | 11,568 | -10,487 |
| 140 | 10,555 | 10,228 | -1,77 | 10 | -10,401 | -9,7515 | 11,617 | -10,477 |
| 160 | 10,585 | 10,231 | -11,829 | 10,029 | -10,425 | -9,8142 | 11,668 | -10,446 |
| 180 | 10,602 | 10,212 | -11,874 | 10,009 | -10,438 | -9,7923 | 11,709 | -10,429 |
| 0 | 10,24 | 10,406 | -11,268 | 10,36 | -10,043 | -9,8745 | 11,071 | -10,892 |

Tabulka 21 – Vzorek 5 – uniální namáhání - 90° - po útku

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,108 | 10,915 | -10,452 | 9,7127 | -10,198 | -10,533 | 10,542 | -10,094 |
| 5 | 10,15 | 10,901 | -10,43 | 9,678 | -10,288 | -10,498 | 10,567 | -10,081 |
| 10 | 10,214 | 10,844 | -10,497 | 9,6618 | -10,321 | -10,483 | 10,604 | -10,023 |
| 20 | 10,26 | 10,824 | -10,6 | 9,656 | -10,344 | -10,43 | 10,684 | -10,05 |
| 40 | 10,391 | 10,705 | -10,684 | 9,6068 | -10,507 | -10,343 | 10,8 | -9,9687 |
| 60 | 10,496 | 10,644 | -10,797 | 9,5753 | -10,612 | -10,285 | 10,913 | -9,9345 |
| 80 | 10,531 | 10,562 | -10,877 | 9,5649 | -10,649 | -10,237 | 10,995 | -9,8901 |
| 100 | 10,583 | 10,521 | -10,903 | 9,5366 | -10,717 | -10,206 | 11,037 | -9,8522 |
| 120 | 10,632 | 10,501 | -10,968 | 9,521 | -10,738 | -10,159 | 11,074 | -9,8631 |
| 140 | 10,681 | 10,437 | -10,988 | 9,5234 | -10,808 | -10,106 | 11,116 | -9,8538 |
| 160 | 10,731 | 10,436 | -11,036 | 9,5145 | -10,852 | -10,117 | 11,157 | -9,8328 |
| 180 | 10,765 | 10,385 | -11,078 | 9,5134 | -10,888 | -10,095 | 11,201 | -9,804 |
| 0 | 10,515 | 10,834 | -10,766 | 9,6632 | -10,626 | -10,456 | 10,877 | -10,041 |

Tabulka 22 – Vzorek 1 – biaální namáhání -0°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,155 | 10,801 | -11,041 | 10,576 | -10,346 | -10,663 | 11,233 | -10,715 |
| 10 | 10,256 | 10,843 | -11,204 | 10,631 | -10,476 | -10,704 | 11,424 | -10,77 |
| 20 | 10,36 | 10,923 | -11,207 | 10,723 | -10,658 | -10,834 | 11,506 | -10,811 |
| 40 | 10,343 | 10,909 | -11,347 | 10,775 | -10,585 | -10,836 | 11,589 | -10,849 |
| 60 | 10,422 | 10,988 | -11,407 | 10,802 | -10,652 | -10,887 | 11,637 | -10,903 |
| 80 | 10,444 | 11,018 | -11,46 | 10,827 | -10,718 | -10,907 | 11,734 | -10,937 |
| 100 | 10,53 | 11,056 | -11,553 | 10,84 | -10,749 | -10,9 | 11,772 | -10,996 |
| 120 | 10,587 | 11,115 | -11,547 | 10,929 | -10,796 | -10,967 | 11,756 | -11,076 |
| 140 | 10,599 | 11,155 | -11,623 | 10,935 | -10,859 | -11,013 | 11,884 | -11,077 |
| 160 | 10,559 | 11,16 | -11,688 | 10,977 | -10,819 | -11,065 | 11,948 | -11,072 |
| 180 | 10,662 | 11,195 | -11,692 | 10,993 | -10,888 | -11,082 | 11,919 | -11,106 |
| 200 | 10,677 | 11,239 | -11,746 | 11,066 | -10,894 | -11,123 | 11,963 | -11,182 |
| 0 | 10,35 | 10,947 | -11,284 | 10,761 | -10,629 | -10,856 | 11,564 | -10,852 |

Tabulka 23 – Vzorek 2 – biaální namáhání -0°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,412 | 9,7245 | -10,452 | 9,8909 | -10,312 | -9,9137 | 10,352 | -9,7017 |
| 10 | 10,223 | 9,8404 | -10,421 | 9,9403 | -10,401 | -10,006 | 10,6 | -9,7748 |
| 20 | 10,435 | 9,7635 | -10,49 | 9,9975 | -10,509 | -9,9683 | 10,563 | -9,7928 |
| 40 | 10,325 | 9,8682 | -10,513 | 10,01 | -10,499 | -9,994 | 10,687 | -9,8844 |
| 60 | 10,361 | 9,8706 | -10,582 | 10,049 | -10,474 | -9,9582 | 10,695 | -9,9611 |
| 80 | 10,477 | 9,9124 | -10,632 | 10,082 | -10,59 | -9,9889 | 10,745 | -10,005 |
| 100 | 10,492 | 10,003 | -10,71 | 10,15 | -10,569 | -10,147 | 10,788 | -10,006 |
| 120 | 10,442 | 9,9893 | -10,694 | 10,128 | -10,69 | -10,002 | 10,942 | -10,116 |
| 140 | 10,573 | 9,946 | -10,725 | 10,225 | -10,67 | -10,139 | 10,822 | -10,032 |
| 160 | 10,535 | 10,064 | -10,761 | 10,245 | -10,675 | -10,207 | 10,901 | -10,102 |
| 180 | 10,552 | 10,091 | -10,793 | 10,253 | -10,693 | -10,179 | 10,935 | -10,165 |
| 200 | 10,684 | 10,111 | -10,849 | 10,278 | -10,768 | -10,233 | 10,933 | -10,156 |
| 0 | 10,438 | 10,004 | -10,659 | 10,082 | -10,52 | -10,098 | 10,74 | -9,9888 |

Tabulka 24 – Vzorek 3 – biaxiální namáhání -0°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,281 | 9,9975 | -10,591 | 10,381 | -10,619 | -10,514 | 10,929 | -9,8647 |
| 10 | 10,262 | 10,031 | -10,618 | 10,472 | -10,61 | -10,59 | 10,966 | -9,9127 |
| 20 | 10,273 | 10,043 | -10,636 | 10,448 | -10,627 | -10,581 | 10,989 | -9,91 |
| 40 | 10,318 | 10,097 | -10,649 | 10,562 | -10,734 | -10,687 | 11,066 | -9,9721 |
| 60 | 10,34 | 10,119 | -10,704 | 10,599 | -10,716 | -10,685 | 11,079 | -10,033 |
| 80 | 10,373 | 10,189 | -10,756 | 10,653 | -10,733 | -10,752 | 11,117 | -10,09 |
| 100 | 10,425 | 10,213 | -10,789 | 10,671 | -10,781 | -10,757 | 11,145 | -10,127 |
| 120 | 10,43 | 10,269 | -10,827 | 10,699 | -10,789 | -10,793 | 11,187 | -10,175 |
| 140 | 10,476 | 10,292 | -10,863 | 10,784 | -10,853 | -10,867 | 11,24 | -10,208 |
| 160 | 10,483 | 10,359 | -10,908 | 10,809 | -10,843 | -10,91 | 11,267 | -10,258 |
| 180 | 10,516 | 10,328 | -10,942 | 10,816 | -10,867 | -10,889 | 11,293 | -10,255 |
| 200 | 10,565 | 10,354 | -10,947 | 10,906 | -10,944 | -10,927 | 11,325 | -10,333 |
| 0 | 10,3 | 10,174 | -10,645 | 10,606 | -10,657 | -10,704 | 11,002 | -10,076 |

Tabulka 25 – Vzorek 4 – biaxiální namáhání -0°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,8586 | 10,109 | -10,199 | 9,8169 | -10,345 | -9,7689 | 10,686 | -10,157 |
| 10 | 9,8775 | 10,173 | -10,236 | 9,838 | -10,328 | -9,8328 | 10,686 | -10,178 |
| 20 | 9,8853 | 10,173 | -10,238 | 9,8811 | -10,387 | -9,8536 | 10,74 | -10,201 |
| 40 | 10,027 | 10,291 | -10,352 | 9,8995 | -10,469 | -9,9179 | 10,794 | -10,272 |
| 60 | 10,025 | 10,245 | -10,381 | 9,9499 | -10,463 | -9,9186 | 10,819 | -10,276 |
| 80 | 10,043 | 10,294 | -10,384 | 9,9772 | -10,522 | -9,9572 | 10,864 | -10,314 |
| 100 | 10,085 | 10,33 | -10,414 | 10,013 | -10,565 | -9,9859 | 10,893 | -10,357 |
| 120 | 10,163 | 10,414 | -10,474 | 10,039 | -10,592 | -10,064 | 10,902 | -10,388 |
| 140 | 10,191 | 10,392 | -10,46 | 10,061 | -10,641 | -10,036 | 10,91 | -10,417 |
| 160 | 10,222 | 10,435 | -10,501 | 10,082 | -10,652 | -10,083 | 10,932 | -10,434 |
| 180 | 10,234 | 10,439 | -10,575 | 10,094 | -10,671 | -10,097 | 11,012 | -10,435 |
| 200 | 10,303 | 10,493 | -10,579 | 10,127 | -10,751 | -10,145 | 11,027 | -10,475 |
| 0 | 10,05 | 10,307 | -10,386 | 10,001 | -10,475 | -9,9456 | 10,811 | -10,363 |

Tabulka 26 – Vzorek 5 – biaxiální namáhání -0°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 9,9666 | 10,003 | -10,871 | 10,375 | -9,9922 | -9,8022 | 10,896 | -10,575 |
| 10 | 9,919 | 10,059 | -10,905 | 10,385 | -9,959 | -9,8327 | 10,945 | -10,611 |
| 20 | 9,9775 | 10,018 | -10,931 | 10,418 | -9,9825 | -9,8216 | 10,936 | -10,614 |
| 40 | 10,05 | 10,081 | -10,946 | 10,415 | -10,093 | -9,8448 | 10,989 | -10,651 |
| 60 | 10,075 | 10,132 | -11,027 | 10,444 | -10,078 | -9,9031 | 11,03 | -10,673 |
| 80 | 10,107 | 10,173 | -11,093 | 10,415 | -10,098 | -9,8978 | 11,084 | -10,69 |
| 100 | 10,091 | 10,225 | -11,106 | 10,45 | -10,13 | -9,9225 | 11,146 | -10,753 |
| 120 | 10,172 | 10,178 | -11,131 | 10,575 | -10,17 | -9,9635 | 11,129 | -10,789 |
| 140 | 10,218 | 10,259 | -11,178 | 10,537 | -10,223 | -9,9807 | 11,183 | -10,815 |
| 160 | 10,258 | 10,285 | -11,185 | 10,57 | -10,255 | -10,012 | 11,182 | -10,843 |
| 180 | 10,296 | 10,302 | -11,232 | 10,595 | -10,309 | -10,01 | 11,245 | -10,886 |
| 0 | 10,162 | 10,172 | -11,085 | 10,567 | -10,16 | -9,9407 | 11,083 | -10,798 |

Tabulka 27 – Vzorek 1 – biaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,028 | 9,9114 | -10,236 | 10,087 | -9,9856 | -10,147 | 10,194 | -9,8519 |
| 5 | 10,12 | 9,9719 | -10,278 | 10,248 | -10,102 | -10,227 | 10,259 | -9,9931 |
| 10 | 10,231 | 10,029 | -10,324 | 10,331 | -10,194 | -10,266 | 10,287 | -10,094 |
| 20 | 10,237 | 10,066 | -10,274 | 10,448 | -10,203 | -10,324 | 10,241 | -10,19 |
| 40 | 10,361 | 10,078 | -10,302 | 10,605 | -10,316 | -10,337 | 10,257 | -10,346 |
| 60 | 10,441 | 10,065 | -10,295 | 10,705 | -10,378 | -10,321 | 10,231 | -10,448 |
| 80 | 10,5 | 10,081 | -10,312 | 10,705 | -10,475 | -10,32 | 10,287 | -10,466 |
| 100 | 10,584 | 10,102 | -10,346 | 10,764 | -10,539 | -10,319 | 10,3 | -10,548 |
| 120 | 10,657 | 10,086 | -10,355 | 10,818 | -10,614 | -10,334 | 10,313 | -10,57 |
| 140 | 10,715 | 10,068 | -10,354 | 10,876 | -10,656 | -10,329 | 10,295 | -10,615 |
| 160 | 10,765 | 10,071 | -10,371 | 10,913 | -10,721 | -10,338 | 10,326 | -10,646 |
| 0 | 9,9912 | 9,9208 | -10,179 | 10,29 | -9,9974 | -10,16 | 10,186 | -10,051 |

Tabulka 28 – Vzorek 2 – biaxiální namáhání - 30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9429 | 10,117 | -10,294 | 10,1 | -10,284 | -10,035 | 10,635 | -10,182 |
| 5 | 9,9774 | 10,131 | -10,307 | 10,153 | -10,312 | -10,095 | 10,642 | -10,189 |
| 10 | 9,9829 | 10,155 | -10,309 | 10,173 | -10,338 | -10,094 | 10,664 | -10,234 |
| 20 | 10,084 | 10,159 | -10,32 | 10,212 | -10,434 | -10,095 | 10,67 | -10,275 |
| 40 | 10,181 | 10,183 | -10,338 | 10,295 | -10,541 | -10,12 | 10,697 | -10,358 |
| 60 | 10,252 | 10,162 | -10,306 | 10,352 | -10,618 | -10,106 | 10,672 | -10,407 |
| 80 | 10,329 | 10,175 | -10,314 | 10,419 | -10,689 | -10,103 | 10,674 | -10,491 |
| 100 | 10,418 | 10,182 | -10,297 | 10,477 | -10,766 | -10,134 | 10,644 | -10,525 |
| 120 | 10,466 | 10,178 | -10,319 | 10,483 | -10,84 | -10,121 | 10,693 | -10,539 |
| 140 | 10,52 | 10,188 | -10,332 | 10,526 | -10,887 | -10,101 | 10,699 | -10,613 |
| 160 | 10,587 | 10,189 | -10,355 | 10,55 | -10,95 | -10,12 | 10,718 | -10,619 |
| 0 | 10,273 | 10,013 | -10,431 | 10,137 | -10,679 | -10,01 | 10,837 | -10,141 |

Tabulka 29 – Vzorek 3 – biaxiální namáhání - 30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,412 | 10,074 | -10,636 | 9,7919 | -9,8407 | -9,949 | 10,064 | -9,9167 |
| 5 | 10,47 | 10,074 | -10,67 | 9,9351 | -9,8885 | -10,009 | 10,089 | -10 |
| 10 | 10,511 | 10,154 | -10,68 | 9,9997 | -9,8897 | -10,066 | 10,059 | -10,087 |
| 20 | 10,541 | 10,137 | -10,653 | 10,169 | -9,9662 | -10,103 | 10,078 | -10,203 |
| 40 | 10,748 | 10,117 | -10,679 | 10,222 | -10,168 | -10,049 | 10,099 | -10,29 |
| 60 | 10,861 | 10,117 | -10,688 | 10,284 | -10,242 | -10,045 | 10,069 | -10,357 |
| 80 | 10,985 | 10,104 | -10,73 | 10,305 | -10,369 | -10,035 | 10,114 | -10,375 |
| 100 | 11,018 | 10,14 | -10,717 | 10,409 | -10,432 | -10,08 | 10,131 | -10,469 |
| 120 | 11,099 | 10,122 | -10,744 | 10,419 | -10,471 | -10,057 | 10,116 | -10,483 |
| 140 | 11,144 | 10,11 | -10,73 | 10,483 | -10,537 | -10,073 | 10,123 | -10,52 |
| 160 | 11,216 | 10,116 | -10,752 | 10,52 | -10,586 | -10,092 | 10,122 | -10,544 |
| 0 | 10,791 | 9,9553 | -10,758 | 9,9206 | -10,183 | -9,8851 | 10,151 | -9,9908 |

Tabulka 30 – Vzorek 4 – biaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,271 | 9,6608 | -10,303 | 10,132 | -10,055 | -9,7101 | 10,086 | -10,082 |
| 5 | 10,305 | 9,7052 | -10,322 | 10,208 | -10,098 | -9,7836 | 10,115 | -10,13 |
| 10 | 10,328 | 9,7375 | -10,329 | 10,255 | -10,136 | -9,814 | 10,138 | -10,179 |
| 20 | 10,373 | 9,7486 | -10,305 | 10,338 | -10,133 | -9,8382 | 10,064 | -10,248 |
| 40 | 10,476 | 9,7573 | -10,323 | 10,463 | -10,232 | -9,8195 | 10,079 | -10,401 |
| 60 | 10,565 | 9,6779 | -10,309 | 10,488 | -10,344 | -9,7949 | 10,088 | -10,371 |
| 80 | 10,672 | 9,7316 | -10,327 | 10,55 | -10,468 | -9,8113 | 10,123 | -10,47 |
| 100 | 10,72 | 9,7104 | -10,286 | 10,595 | -10,553 | -9,7839 | 10,119 | -10,522 |
| 120 | 10,804 | 9,7187 | -10,335 | 10,635 | -10,626 | -9,7976 | 10,157 | -10,556 |
| 140 | 10,888 | 9,7042 | -10,348 | 10,664 | -10,688 | -9,7975 | 10,148 | -10,571 |
| 160 | 10,918 | 9,6852 | -10,357 | 10,728 | -10,746 | -9,7885 | 10,185 | -10,625 |
| 0 | 10,454 | 9,6517 | -10,306 | 10,337 | -10,291 | -9,7257 | 10,143 | -10,263 |

Tabulka 31 – Vzorek 5 – biaxiální namáhání -30°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,182 | 9,9783 | -10,419 | 10,241 | -10,225 | -10,152 | 10,461 | -10,068 |
| 5 | 10,202 | 10,018 | -10,431 | 10,337 | -10,223 | -10,215 | 10,452 | -10,139 |
| 10 | 10,254 | 10,028 | -10,443 | 10,394 | -10,29 | -10,23 | 10,478 | -10,192 |
| 20 | 10,352 | 10,024 | -10,453 | 10,464 | -10,392 | -10,216 | 10,493 | -10,272 |
| 40 | 10,458 | 10,039 | -10,466 | 10,593 | -10,494 | -10,253 | 10,503 | -10,378 |
| 60 | 10,538 | 10,021 | -10,462 | 10,654 | -10,563 | -10,219 | 10,487 | -10,456 |
| 80 | 10,629 | 10,033 | -10,456 | 10,732 | -10,652 | -10,246 | 10,48 | -10,518 |
| 100 | 10,681 | 10,009 | -10,461 | 10,79 | -10,713 | -10,245 | 10,493 | -10,555 |
| 120 | 10,744 | 10,065 | -10,481 | 10,84 | -10,765 | -10,267 | 10,501 | -10,638 |
| 140 | 10,799 | 10,06 | -10,486 | 10,869 | -10,825 | -10,258 | 10,513 | -10,671 |
| 160 | 10,84 | 10,064 | -10,516 | 10,956 | -10,828 | -10,27 | 10,504 | -10,75 |
| 0 | 10,515 | 9,9292 | -10,554 | 10,434 | -10,543 | -10,143 | 10,582 | -10,221 |

Tabulka 32 – Vzorek 1 – biaxiální namáhání -45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,593 | 10,122 | -10,665 | 10,469 | -10,333 | -10,511 | 10,406 | -10,08 |
| 5 | 10,767 | 10,117 | -10,63 | 10,511 | -10,696 | -10,589 | 10,559 | -10,04 |
| 10 | 10,8 | 10,081 | -10,678 | 10,478 | -10,809 | -10,585 | 10,686 | -9,9742 |
| 20 | 10,91 | 10,082 | -10,763 | 10,501 | -1,88 | -10,539 | 10,733 | -10,045 |
| 40 | 10,799 | 10,122 | -10,907 | 10,506 | -10,536 | -10,606 | 10,644 | -10,022 |
| 60 | 10,911 | 10,16 | -10,915 | 10,504 | -10,731 | -10,573 | 10,735 | -10,092 |
| 80 | 11,058 | 10,197 | -10,88 | 10,564 | -11,037 | -10,714 | 10,86 | -10,047 |
| 100 | 10,99 | 10,188 | -10,994 | 10,572 | -10,849 | -10,654 | 10,854 | -10,106 |
| 120 | 11,151 | 10,287 | -10,916 | 10,643 | -11,168 | -10,793 | 10,933 | -10,137 |
| 140 | 11,137 | 10,25 | -11,063 | 10,557 | -11,055 | -10,677 | 10,982 | -10,13 |
| 160 | 11,256 | 10,343 | -11,027 | 10,622 | -11,207 | -10,758 | 10,978 | -10,207 |
| 0 | 11,054 | 9,9835 | -10,966 | 10,307 | -11,051 | -10,346 | 10,963 | -9,9443 |

Tabulka 33 – Vzorek 2 – biaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,565 | 9,9426 | -10,289 | 9,9599 | -10,62 | -9,8051 | 10,345 | -10,097 |
| 5 | 10,518 | 10,025 | -10,296 | 9,9927 | -10,583 | -9,8924 | 10,361 | -10,126 |
| 10 | 10,563 | 10,037 | -10,323 | 10,023 | -10,621 | -9,9218 | 10,381 | -10,138 |
| 20 | 10,557 | 10,113 | -10,313 | 10,091 | -10,647 | -10 | 10,403 | -10,204 |
| 40 | 10,681 | 10,196 | -10,351 | 10,077 | -10,779 | -10,069 | 10,449 | -10,204 |
| 60 | 10,714 | 10,208 | -10,398 | 10,102 | -10,823 | -10,083 | 10,507 | -10,227 |
| 80 | 10,798 | 10,24 | -10,479 | 10,1 | -10,912 | -10,098 | 10,594 | -10,242 |
| 100 | 10,835 | 10,258 | -10,492 | 10,081 | -10,982 | -10,105 | 10,639 | -10,234 |
| 120 | 10,888 | 10,299 | -10,548 | 10,126 | -11,026 | -10,132 | 10,686 | -10,293 |
| 140 | 10,959 | 10,295 | -10,603 | 10,134 | -11,094 | -10,192 | 10,738 | -10,237 |
| 160 | 10,989 | 10,31 | -10,612 | 10,136 | -11,15 | -10,152 | 10,773 | -10,294 |
| 0 | 10,939 | 9,8621 | -10,642 | 9,7955 | -11,131 | -9,7232 | 10,833 | -9,9344 |

Tabulka 34 – Vzorek 3 – biaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,171 | 9,8569 | -10,405 | 10,044 | -10,84 | -9,9134 | 11,074 | -9,9874 |
| 5 | 10,179 | 9,8763 | -10,4 | 10,016 | -10,809 | -9,9372 | 11,03 | -9,9554 |
| 10 | 10,176 | 9,8721 | -10,414 | 10,022 | -10,85 | -9,9359 | 11,089 | -9,9585 |
| 20 | 10,278 | 9,8852 | -10,476 | 10,024 | -10,943 | -9,9601 | 11,14 | -9,9493 |
| 40 | 10,354 | 9,9209 | -10,53 | 10,022 | -11,044 | -9,9408 | 11,22 | -10,002 |
| 60 | 10,394 | 9,9783 | -10,589 | 9,9947 | -11,072 | -10,014 | 11,267 | -9,9593 |
| 80 | 10,46 | 10,012 | -10,604 | 10,075 | -11,14 | -10,03 | 11,284 | -10,057 |
| 100 | 10,481 | 10,063 | -10,613 | 10,093 | -11,158 | -10,113 | 11,29 | -10,043 |
| 120 | 10,534 | 10,124 | -10,695 | 10,132 | -11,187 | -10,122 | 11,348 | -10,134 |
| 140 | 10,579 | 10,099 | -10,71 | 10,176 | -11,252 | -10,141 | 11,383 | -10,134 |
| 160 | 10,591 | 10,167 | -10,71 | 10,198 | -11,256 | -10,174 | 11,375 | -10,191 |
| 0 | 10,518 | 10 | -10,69 | 10,004 | -11,175 | -9,9709 | 11,347 | -10,034 |

Tabulka 35 – Vzorek 4 – biaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,479 | 10,384 | -10,168 | 9,6652 | -10,874 | -9,4297 | 10,563 | -10,619 |
| 5 | 10,589 | 10,479 | -10,241 | 9,7574 | -10,968 | -9,5708 | 10,62 | -10,665 |
| 10 | 10,61 | 10,568 | -10,289 | 9,8449 | -10,869 | -9,7308 | 10,548 | -10,682 |
| 20 | 10,652 | 10,636 | -10,258 | 9,8408 | -11,012 | -9,7055 | 10,618 | -10,771 |
| 40 | 10,72 | 10,731 | -10,333 | 9,8826 | -11,074 | -9,809 | 10,687 | -10,804 |
| 60 | 10,796 | 10,803 | -10,432 | 9,9141 | -11,16 | -9,9192 | 10,797 | -10,798 |
| 80 | 10,868 | 10,82 | -10,449 | 9,9066 | -11,219 | -9,9083 | 10,8 | -10,818 |
| 100 | 10,895 | 10,873 | -10,472 | 9,9311 | -11,255 | -9,9599 | 10,832 | -10,844 |
| 120 | 10,884 | 10,968 | -10,586 | 9,9918 | -11,172 | -10,11 | 10,874 | -10,849 |
| 140 | 11,001 | 10,94 | -10,565 | 9,925 | -11,364 | -9,9965 | 10,927 | -10,869 |
| 160 | 10,985 | 10,977 | -10,663 | 9,9873 | -11,275 | -10,144 | 10,953 | -10,82 |
| 0 | 10,721 | 10,568 | -10,4 | 9,7034 | -11,1 | -9,669 | 10,778 | -10,602 |

Tabulka 36 – Vzorek 5 – biaxiální namáhání - 45°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,268 | 10,242 | -10,377 | 10,354 | -10,585 | -10,042 | 10,694 | -10,553 |
| 5 | 10,278 | 10,352 | -10,382 | 10,41 | -10,574 | -10,081 | 10,679 | -10,68 |
| 10 | 10,245 | 10,449 | -10,372 | 10,517 | -10,541 | -10,25 | 10,667 | -10,716 |
| 20 | 10,264 | 10,466 | -10,385 | 10,58 | -10,542 | -10,251 | 10,663 | -10,796 |
| 40 | 10,418 | 10,472 | -10,509 | 10,573 | -10,692 | -10,229 | 10,783 | -10,816 |
| 60 | 10,533 | 10,416 | -10,637 | 10,56 | -10,757 | -10,265 | 10,861 | -10,71 |
| 80 | 10,639 | 10,367 | -10,73 | 10,524 | -10,865 | -10,198 | 10,956 | -10,692 |
| 100 | 10,723 | 10,389 | -10,791 | 10,514 | -10,944 | -10,196 | 11,012 | -10,707 |
| 120 | 10,76 | 10,395 | -10,792 | 10,532 | -11 | -10,187 | 11,032 | -10,74 |
| 140 | 10,8 | 10,459 | -10,836 | 10,612 | -11,008 | -10,291 | 11,045 | -10,78 |
| 160 | 10,841 | 10,46 | -10,869 | 10,636 | -11,021 | -10,319 | 11,049 | -10,776 |
| 0 | 10,426 | 10,229 | -10,582 | 10,348 | -10,696 | -10,013 | 10,852 | -10,564 |

Tabulka 37 – Vzorek 1 – biaxiální namáhání -60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,23 | 10,174 | -10,523 | 9,8051 | -10,205 | -10,085 | 10,498 | -9,8939 |
| 5 | 10,267 | 10,242 | -10,555 | 9,8251 | -10,227 | -10,131 | 10,514 | -9,9356 |
| 10 | 10,246 | 10,264 | -10,568 | 9,8307 | -10,211 | -10,156 | 10,533 | -9,9394 |
| 20 | 10,279 | 10,323 | -10,701 | 9,826 | -10,194 | -10,227 | 10,617 | -9,9223 |
| 40 | 10,328 | 10,417 | -10,857 | 9,8044 | -10,263 | -10,288 | 10,792 | -9,9329 |
| 60 | 10,34 | 10,469 | -10,992 | 9,7459 | -10,296 | -10,336 | 10,948 | -9,879 |
| 80 | 10,362 | 10,5 | -11,094 | 9,7618 | -10,305 | -10,377 | 11,036 | -9,8852 |
| 100 | 10,354 | 10,575 | -11,165 | 9,7638 | -10,297 | -10,427 | 11,109 | -9,9115 |
| 120 | 10,427 | 10,613 | -11,254 | 9,7657 | -10,361 | -10,468 | 11,188 | -9,91 |
| 140 | 10,44 | 10,627 | -11,316 | 9,7772 | -10,371 | -10,497 | 11,247 | -9,9076 |
| 160 | 10,453 | 10,668 | -11,377 | 9,7874 | -10,38 | -10,536 | 11,305 | -9,9193 |
| 0 | 10,486 | 10,238 | -10,998 | 9,7571 | -10,426 | -10,108 | 10,938 | -9,8864 |

Tabulka 38 – Vzorek 2 – biaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,362 | 10,407 | -10,642 | 9,6312 | -10,6 | -10,119 | 10,881 | -9,919 |
| 5 | 10,363 | 10,433 | -10,703 | 9,6236 | -10,562 | -10,133 | 10,902 | -9,9231 |
| 10 | 10,367 | 10,424 | -10,697 | 9,6325 | -10,597 | -10,142 | 10,926 | -9,9143 |
| 20 | 10,377 | 10,43 | -10,795 | 9,5897 | -10,648 | -10,151 | 11,065 | -9,869 |
| 40 | 10,417 | 10,469 | -10,901 | 9,5473 | -10,695 | -10,18 | 11,179 | -9,8368 |
| 60 | 10,488 | 10,488 | -11,01 | 9,5554 | -10,738 | -10,208 | 11,26 | -9,8357 |
| 80 | 10,493 | 10,534 | -11,087 | 9,5448 | -10,764 | -10,271 | 11,358 | -9,8081 |
| 100 | 10,536 | 10,544 | -11,184 | 9,5484 | -10,787 | -10,275 | 11,434 | -9,8176 |
| 120 | 10,06 | 10,571 | -11,212 | 9,558 | -10,81 | -10,321 | 11,516 | -9,8073 |
| 140 | 10,525 | 10,63 | -11,285 | 9,5311 | -10,828 | -10,347 | 11,589 | -9,8139 |
| 160 | 10,575 | 10,631 | -11,335 | 9,5919 | -10,859 | -10,406 | 11,618 | -9,8168 |
| 0 | 10,538 | 10,436 | -11,096 | 9,5852 | -10,785 | -10,183 | 11,343 | -9,8381 |

Tabulka 39 – Vzorek 3 – biaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,31 | 10,28 | -10,827 | 9,8943 | -10,181 | -10,2 | 10,698 | -9,9742 |
| 5 | 10,316 | 10,301 | -10,856 | 9,8913 | -10,169 | -10,235 | 10,709 | -9,9568 |
| 10 | 10,309 | 10,334 | -10,832 | 9,8958 | -10,198 | -10,244 | 10,721 | -9,9858 |
| 20 | 10,336 | 10,326 | -10,939 | 9,9038 | -10,214 | -10,267 | 10,817 | -9,9629 |
| 40 | 10,411 | 10,381 | -11,145 | 9,817 | -10,259 | -10,302 | 10,993 | -9,8963 |
| 60 | 10,48 | 10,326 | -11,282 | 9,7998 | -10,341 | -10,278 | 11,144 | -9,8485 |
| 80 | 10,469 | 10,388 | -11,334 | 9,7866 | -10,365 | -10,313 | 11,23 | -9,8622 |
| 100 | 10,495 | 10,414 | -11,438 | 9,7495 | -10,384 | -10,332 | 11,327 | -9,8309 |
| 120 | 10,517 | 10,43 | -11,51 | 9,7672 | -10,404 | -10,376 | 11,396 | -9,8211 |
| 140 | 10,517 | 10,48 | -11,571 | 9,7785 | -10,4 | -10,424 | 11,453 | -9,8348 |
| 160 | 10,586 | 10,513 | -11,669 | 9,7686 | -10,454 | -10,441 | 11,537 | -9,84 |
| 0 | 10,436 | 10,36 | -11,073 | 9,884 | -10,294 | -10,276 | 10,931 | -9,9681 |

Tabulka 40 – Vzorek 4 – biaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 9,9217 | 10,571 | -10,578 | 9,5223 | -10,34 | -10,263 | 10,996 | -9,8303 |
| 5 | 9,9504 | 10,615 | -10,592 | 9,5417 | -10,379 | -10,299 | 11,021 | -9,8574 |
| 10 | 9,9782 | 10,625 | -10,707 | 9,5001 | -10,37 | -10,311 | 11,099 | -9,8142 |
| 20 | 9,9833 | 10,583 | -10,681 | 9,5071 | -10,41 | -10,297 | 11,108 | -9,7937 |
| 40 | 10,016 | 10,647 | -10,814 | 9,4917 | -10,462 | -10,357 | 11,26 | -9,7812 |
| 60 | 10,015 | 10,709 | -10,918 | 9,4719 | -10,402 | -10,39 | 11,305 | -9,7909 |
| 80 | 10,026 | 10,75 | -10,985 | 9,4602 | -10,463 | -10,459 | 11,422 | -9,7509 |
| 100 | 10,019 | 10,819 | -11,028 | 9,4709 | -10,446 | -10,509 | 11,455 | -9,7802 |
| 120 | 10,004 | 10,82 | -11,077 | 9,4815 | -10,428 | -10,537 | 11,5 | -9,7653 |
| 140 | 10,048 | 10,894 | -11,123 | 9,4923 | -10,502 | -10,569 | 11,577 | -9,8176 |
| 160 | 10,062 | 10,915 | -11,153 | 9,4963 | -10,515 | -10,634 | 11,606 | -9,7772 |
| 0 | 10,029 | 10,714 | -10,876 | 9,5103 | -10,443 | -10,375 | 11,291 | -9,8494 |

Tabulka 41 – Vzorek 5 – biaxiální namáhání - 60°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 0 | 10,121 | 10,597 | -10,68 | 9,7852 | -10,149 | -10,708 | 10,707 | -9,6743 |
| 5 | 10,116 | 10,64 | -10,71 | 9,7872 | -10,149 | -10,722 | 10,743 | -9,705 |
| 10 | 10,111 | 10,658 | -10,708 | 9,7704 | -10,189 | -10,74 | 10,786 | -9,6887 |
| 20 | 10,147 | 10,693 | -10,775 | 9,7644 | -10,204 | -10,792 | 10,832 | -9,6649 |
| 40 | 10,182 | 10,776 | -10,906 | 9,7581 | -10,247 | -10,859 | 10,971 | -9,6751 |
| 60 | 10,194 | 10,81 | -11,007 | 9,727 | -10,302 | -10,901 | 11,115 | -9,636 |
| 80 | 10,207 | 10,839 | -11,055 | 9,7216 | -10,292 | -10,929 | 11,14 | -9,6313 |
| 100 | 10,224 | 10,937 | -11,145 | 9,7668 | -10,327 | -11,039 | 11,248 | -9,6651 |
| 120 | 10,217 | 10,955 | -11,19 | 9,7652 | -10,325 | -11,082 | 11,298 | -9,6376 |
| 140 | 10,249 | 11,006 | -11,227 | 9,7492 | -10,357 | -11,119 | 11,336 | -9,636 |
| 160 | 10,275 | 11,033 | -11,267 | 9,7508 | -10,387 | -11,14 | 11,379 | -9,644 |
| 0 | 10,245 | 10,714 | -11,013 | 9,7238 | -10,317 | -10,785 | 11,085 | -9,6524 |

Tabulka 42 – Vzorek 1 – biaxiální namáhání - 90°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,531 | 10,025 | -10,205 | 10,256 | -10,808 | -10,162 | 10,482 | -10,119 |
| 5 | 10,56 | 10,086 | -10,225 | 10,278 | -10,846 | -10,223 | 10,51 | -10,142 |
| 10 | 10,604 | 10,139 | -10,245 | 10,354 | -10,903 | -10,275 | 10,543 | -10,218 |
| 20 | 10,653 | 10,19 | -10,274 | 10,372 | -10,941 | -10,36 | 10,563 | -10,202 |
| 40 | 10,692 | 10,213 | -10,324 | 10,402 | -10,995 | -10,336 | 10,627 | -10,278 |
| 60 | 10,722 | 10,217 | -10,382 | 10,492 | -10,998 | -10,415 | 10,658 | -10,295 |
| 80 | 10,772 | 10,302 | -10,397 | 10,526 | -11,036 | -10,454 | 10,661 | -10,374 |
| 100 | 10,805 | 10,317 | -10,417 | 10,599 | -11,057 | -10,522 | 10,669 | -10,395 |
| 120 | 10,84 | 10,414 | -10,43 | 10,579 | -11,119 | -10,531 | 10,708 | -10,462 |
| 140 | 10,87 | 10,42 | -10,453 | 10,601 | -11,17 | -10,61 | 10,753 | -10,41 |
| 160 | 10,878 | 10,42 | -10,503 | 10,655 | -11,172 | -10,533 | 10,797 | -10,542 |
| 0 | 10,753 | 10,147 | -10,399 | 10,416 | -11,023 | -10,312 | 10,67 | -10,251 |

Tabulka 43 – Vzorek 2 – biaxiální namáhání - 90°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,634 | 10,092 | -10,585 | 9,7992 | -10,646 | -10,212 | 10,598 | -9,6795 |
| 10 | 10,655 | 10,096 | -10,599 | 9,7857 | -10,642 | -10,233 | 10,586 | -9,6489 |
| 20 | 10,67 | 10,138 | -10,644 | 9,8186 | -10,664 | -10,259 | 10,638 | -9,6971 |
| 40 | 10,677 | 10,168 | -10,677 | 9,8673 | -10,692 | -10,312 | 10,691 | -9,7235 |
| 60 | 10,773 | 10,185 | -10,782 | 9,9312 | -10,799 | -10,29 | 10,807 | -9,8258 |
| 80 | 10,822 | 10,234 | -10,85 | 9,9473 | -10,816 | -10,314 | 10,844 | -9,8673 |
| 100 | 10,869 | 10,257 | -10,907 | 10,012 | -10,895 | -10,364 | 10,933 | -9,905 |
| 120 | 10,925 | 10,319 | -10,941 | 10,062 | -10,959 | -10,454 | 10,975 | -9,9262 |
| 140 | 10,904 | 10,33 | -10,986 | 10,102 | -10,995 | -10,443 | 11,077 | -9,9901 |
| 160 | 11,006 | 10,383 | -11,077 | 10,143 | -10,975 | -10,509 | 11,046 | -10,016 |
| 180 | 11,008 | 10,419 | -11,086 | 10,121 | -11,038 | -10,519 | 11,116 | -10,021 |
| 200 | 11,032 | 10,469 | -11,138 | 10,183 | -11,049 | -10,578 | 11,155 | -10,074 |
| 0 | 10,848 | 10,266 | -10,891 | 10,056 | -10,877 | -10,364 | 10,921 | -9,9575 |

Tabulka 44 – Vzorek 3 – biaxiální namáhání - 90°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,618 | 9,791 | -10,676 | 10,358 | -10,658 | -9,8858 | 10,716 | -10,263 |
| 5 | 10,609 | 9,8409 | -10,731 | 10,306 | -10,588 | -9,8216 | 10,71 | -10,325 |
| 10 | 10,723 | 9,8372 | -10,726 | 10,336 | -10,744 | -9,838 | 10,748 | -10,336 |
| 20 | 10,701 | 9,9244 | -10,795 | 10,444 | -10,692 | -9,9537 | 10,786 | -10,415 |
| 40 | 10,759 | 10,02 | -10,82 | 10,445 | -10,82 | -10,031 | 10,881 | -10,434 |
| 60 | 10,793 | 10,087 | -10,86 | 10,518 | -10,829 | -10,136 | 10,896 | -10,469 |
| 80 | 10,85 | 10,028 | -10,911 | 10,523 | -10,885 | -10,003 | 10,946 | -10,548 |
| 100 | 10,87 | 10,114 | -10,927 | 10,638 | -10,91 | -10,226 | 10,967 | -10,525 |
| 120 | 10,974 | 10,177 | -10,934 | 10,599 | -11,029 | -10,234 | 10,989 | -10,542 |
| 140 | 10,927 | 10,202 | -11,009 | 10,638 | -10,938 | -10,185 | 11,02 | -10,655 |
| 160 | 11,027 | 10,145 | -10,978 | 10,682 | -11,076 | -10,19 | 11,027 | -10,637 |
| 0 | 10,838 | 9,8866 | -10,815 | 10,537 | -10,916 | -9,9974 | 10,893 | -10,427 |

Tabulka 45 – Vzorek 4 – biaxiální namáhání - 90°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,307 | 9,8627 | -10,337 | 10,089 | -10,718 | -10,159 | 10,749 | -9,7926 |
| 5 | 10,348 | 9,9153 | -10,393 | 10,114 | -10,746 | -10,224 | 10,791 | -9,8053 |
| 10 | 10,343 | 9,9595 | -10,424 | 10,173 | -10,721 | -10,306 | 10,802 | -9,8261 |
| 20 | 10,436 | 10,001 | -10,477 | 10,227 | -10,821 | -10,315 | 10,862 | -9,9128 |
| 40 | 10,448 | 10,021 | -10,519 | 10,275 | -10,845 | -10,351 | 10,916 | -9,9443 |
| 60 | 10,547 | 10,082 | -10,549 | 10,322 | -10,941 | -10,405 | 10,943 | -9,9985 |
| 80 | 10,531 | 10,174 | -10,589 | 10,358 | -10,927 | -10,429 | 10,985 | -10,103 |
| 100 | 10,62 | 10,146 | -10,702 | 10,37 | -10,942 | -10,423 | 11,025 | -10,094 |
| 120 | 10,595 | 10,174 | -10,707 | 10,366 | -10,866 | -10,402 | 10,978 | -10,138 |
| 140 | 10,643 | 10,196 | -10,741 | 10,384 | -10,913 | -10,442 | 11,011 | -10,138 |
| 160 | 10,693 | 10,22 | -10,821 | 10,446 | -10,984 | -10,52 | 11,112 | -10,146 |
| 0 | 10,482 | 9,9486 | -10,552 | 10,173 | -10,833 | -10,211 | 10,902 | -9,9098 |

Tabulka 46 – Vzorek 5 – biaxiální namáhání - 90°

| F[N] | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | x ₃ | y ₃ | x ₄ | y ₄ |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 10,152 | 10,109 | -10,59 | 10,068 | -10,143 | -10,299 | 10,58 | -9,8773 |
| 5 | 10,219 | 10,076 | -10,622 | 10,114 | -10,255 | -10,372 | 10,658 | -9,8181 |
| 10 | 10,238 | 10,148 | -10,628 | 10,186 | -10,263 | -10,413 | 10,653 | -9,9214 |
| 20 | 10,265 | 10,216 | -10,695 | 10,264 | -10,365 | -10,515 | 10,795 | -9,9653 |
| 40 | 10,373 | 10,304 | -10,733 | 10,318 | -10,371 | -10,579 | 10,731 | -10,044 |
| 60 | 10,382 | 10,405 | -10,774 | 10,353 | -10,476 | -10,58 | 10,868 | -10,178 |
| 80 | 10,407 | 10,422 | -10,815 | 10,41 | -10,481 | -10,598 | 10,889 | -10,235 |
| 100 | 10,431 | 10,476 | -10,837 | 10,46 | -10,555 | -10,643 | 10,961 | -10,293 |
| 120 | 10,489 | 10,496 | -10,833 | 10,479 | -10,556 | -10,643 | 10,9 | -10,333 |
| 140 | 10,545 | 10,538 | -10,879 | 10,511 | -10,608 | -10,672 | 10,941 | -10,377 |
| 160 | 10,592 | 10,56 | -10,917 | 10,563 | -10,639 | -10,71 | 10,964 | -10,412 |
| 0 | 10,367 | 10,1 | -10,695 | 10,274 | -10,453 | -10,362 | 10,78 | -10,012 |

Příloha 2

Tabulky hodnot Poissonova čísla Pro jednotlivá namáhání

Tabulka 1 – Hodnoty Poissonova čísla při uniaxiálním namáhání

| zatížení | uniaxiální 0° | uniaxiální 30° | uniaxiální 45° | uniaxiální 60° | uniaxiální 90° |
|----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0.51641 | 1.094 | 0.96639 | 1.2292 | 0.55166 |
| 10 | 0.41134 | 1.0065 | 0.96564 | 1.1173 | 0.47506 |
| 20 | 0.66845 | 0.97167 | 0.93101 | 1.0323 | 0.40661 |
| 40 | 0.63758 | 0.9193 | 0.9069 | 0.9533 | 0.49234 |
| 60 | 0.79099 | 0.88917 | 0.87152 | 0.91314 | 0.56897 |
| 80 | 0.86654 | 0.8787 | 0.85665 | 0.88954 | 0.59882 |
| 100 | 0.898 | 0.87288 | 0.85877 | 0.88159 | 0.62481 |
| 120 | 0.9543 | 0.87435 | 0.84472 | 0.87319 | 0.62055 |
| 140 | 0.96936 | 0.87278 | 0.84074 | 0.86775 | 0.62274 |
| 160 | 1.0119 | | | | 0.56962 |
| 180 | 1.0193 | | | | 0.58544 |

Tabulka 2 – Hodnoty Poissonova čísla při biaxiálním namáhání

| zatížení | biaxiální 0° | biaxiální 30° | biaxiální 45° | biaxiální 60° | biaxiální 90° |
|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|

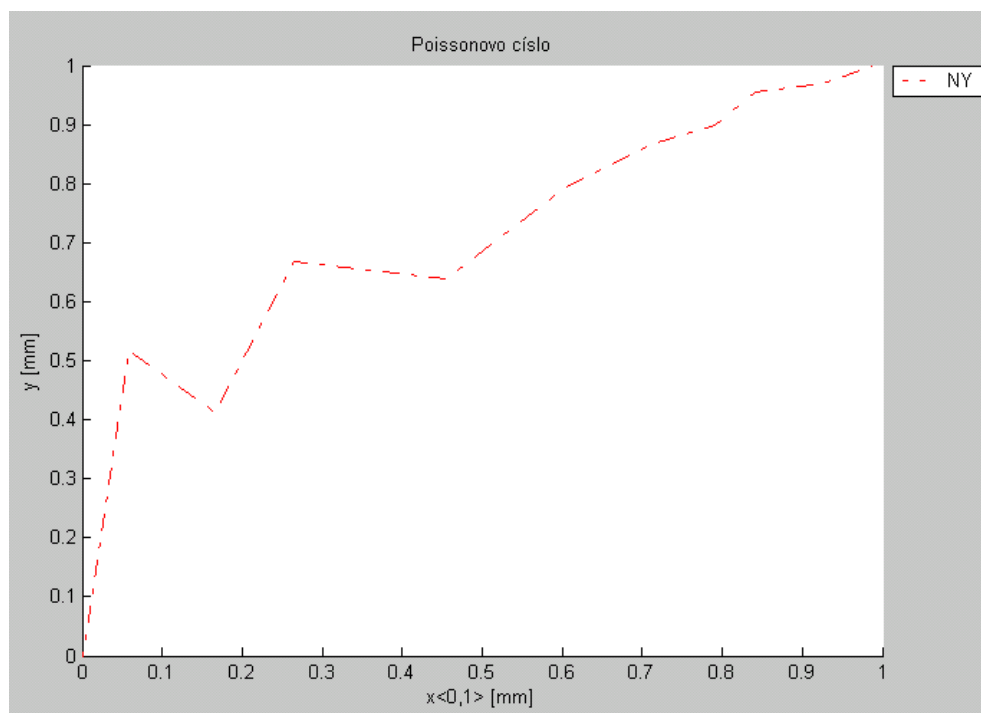
| | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | | 0.5081 | 1.218 | 1.3622 | |
| 10 | 1.4312 | 0.55478 | 1.4493 | 0.79661 | 1.6468 |
| 20 | 0.81881 | 0.50553 | 1.1542 | 0.35445 | 0.88753 |
| 40 | 0.89584 | 0.69274 | 0.95016 | 0.26071 | 0.82863 |
| 60 | 0.91447 | 0.78438 | 0.70529 | 0.1873 | 0.94127 |
| 80 | 0.86603 | 0.90574 | 0.58013 | 0.22443 | 0.91173 |
| 100 | 0.90382 | 0.90528 | 0.58851 | 0.28596 | 0.92161 |
| 120 | 0.93036 | 0.98654 | 0.64893 | 0.29714 | 0.9004 |
| 140 | 0.90107 | 1.017 | 0.56944 | 0.32776 | 0.9011 |
| 160 | 0.97054 | 1.0402 | 0.62719 | 0.34135 | 0.90818 |
| 180 | 0.9075 | | | | 0.97084 |

Příloha 3

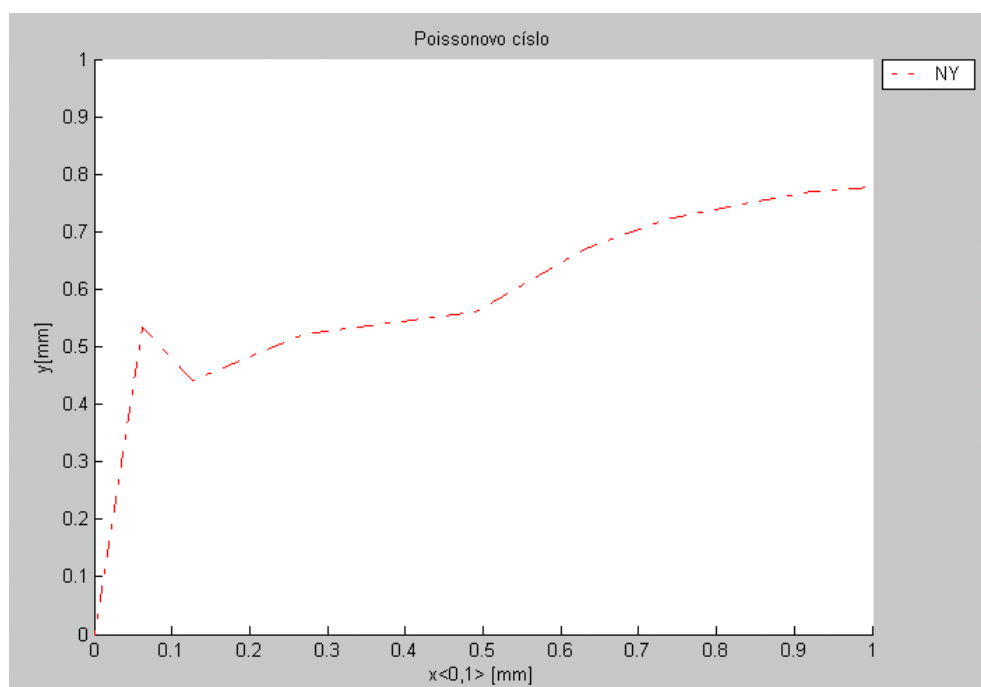
Grafy vykreslení Poissonova čísla

Uniaxiální namáhání

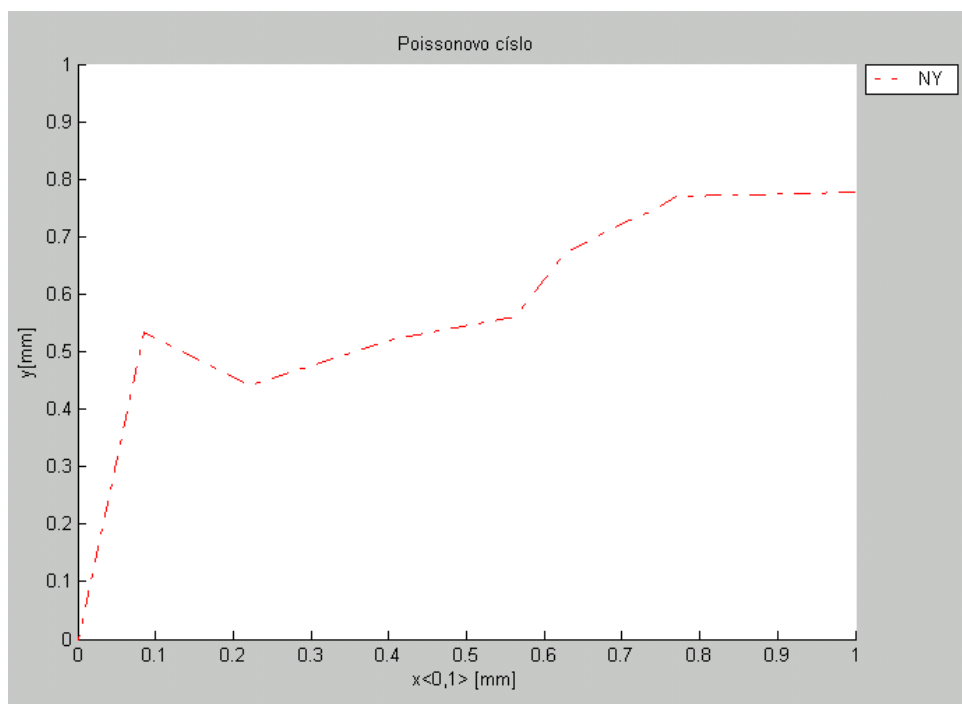
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - směr osnovy



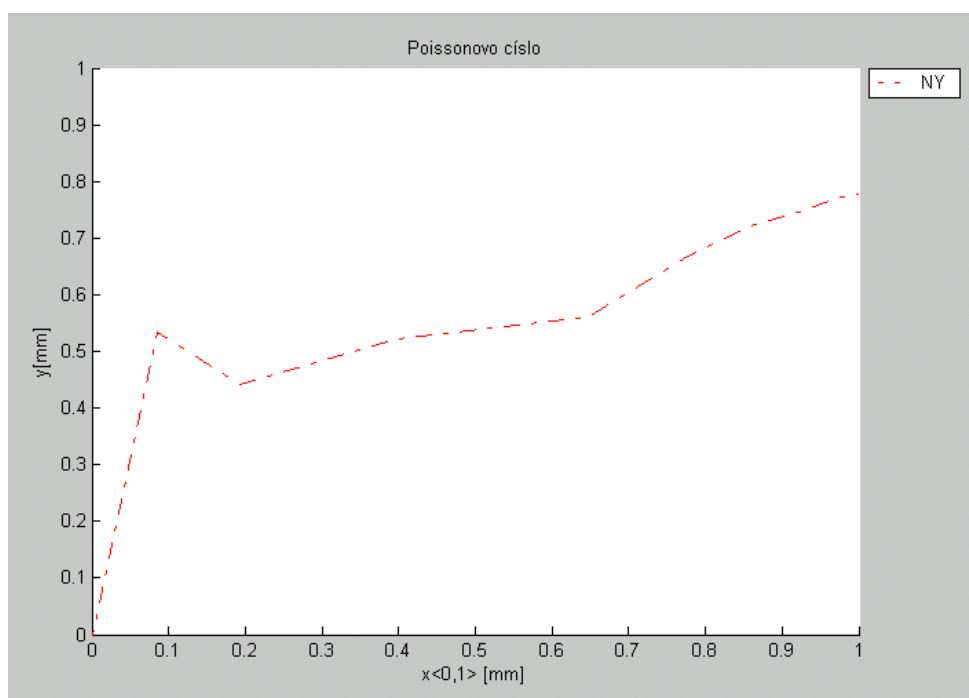
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



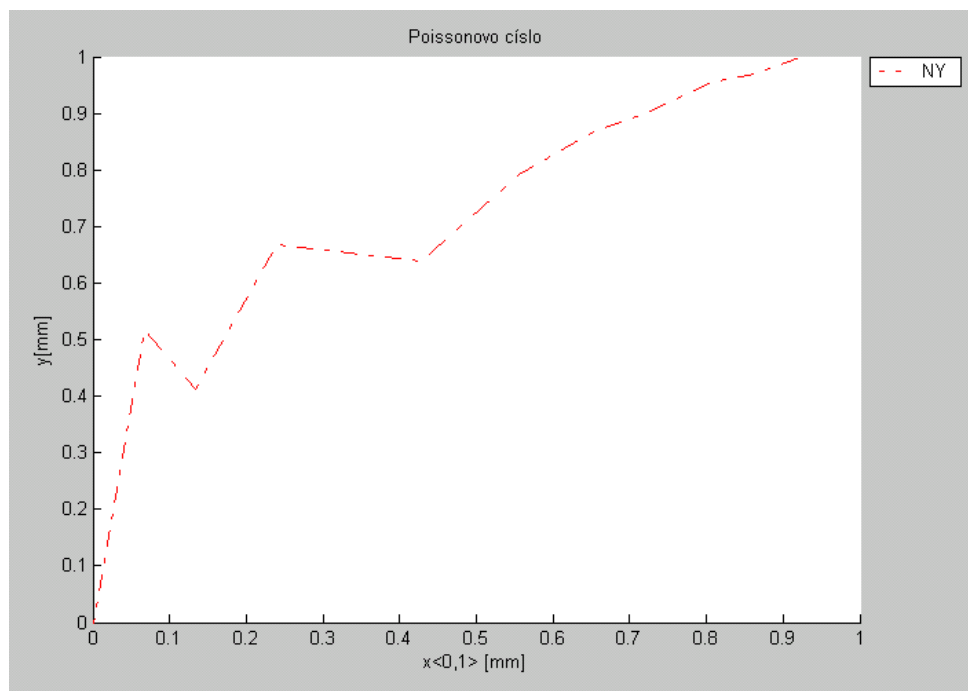
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

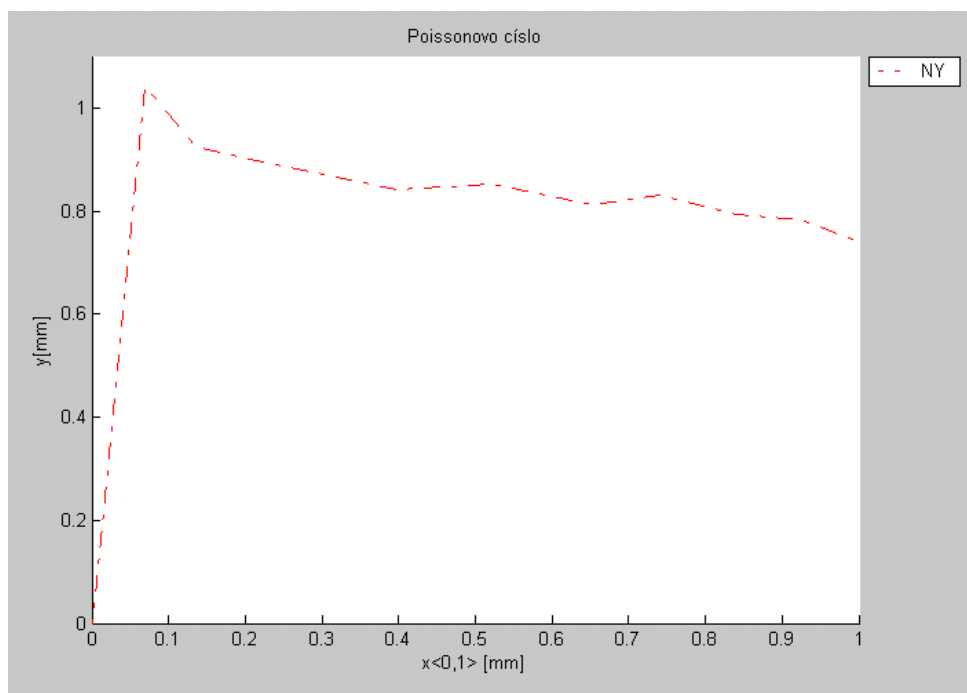


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90° - zátěž po útku

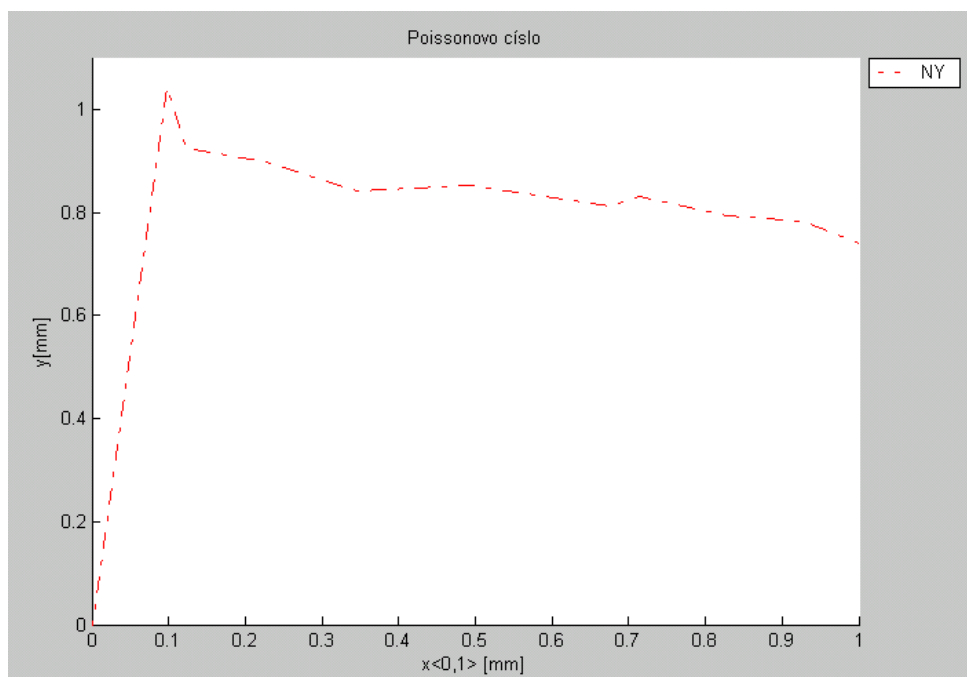


Biaxiální namáhání

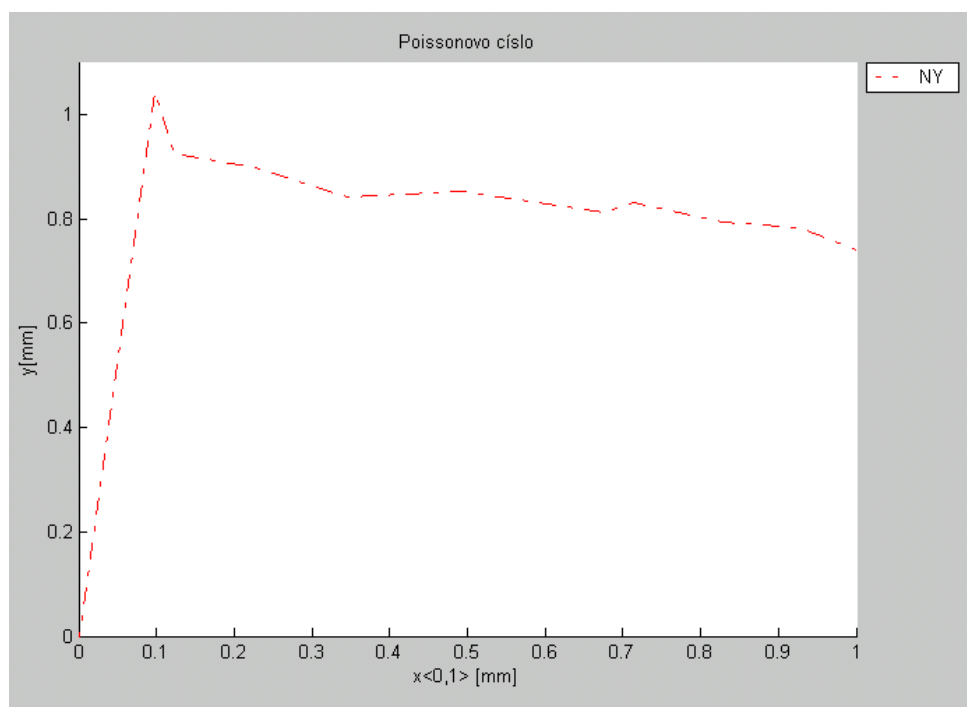
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



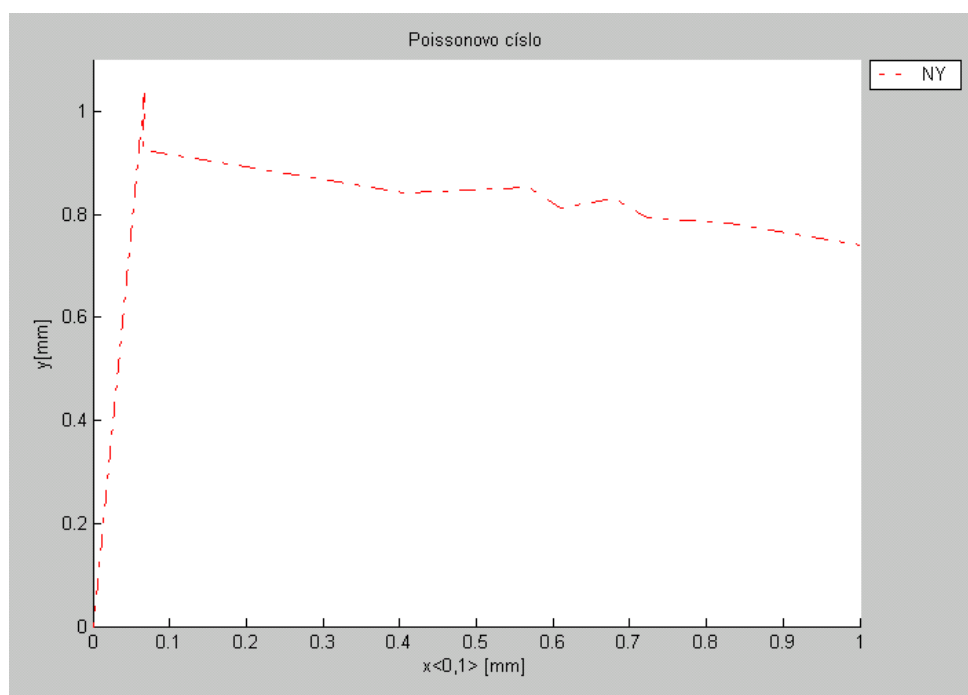
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



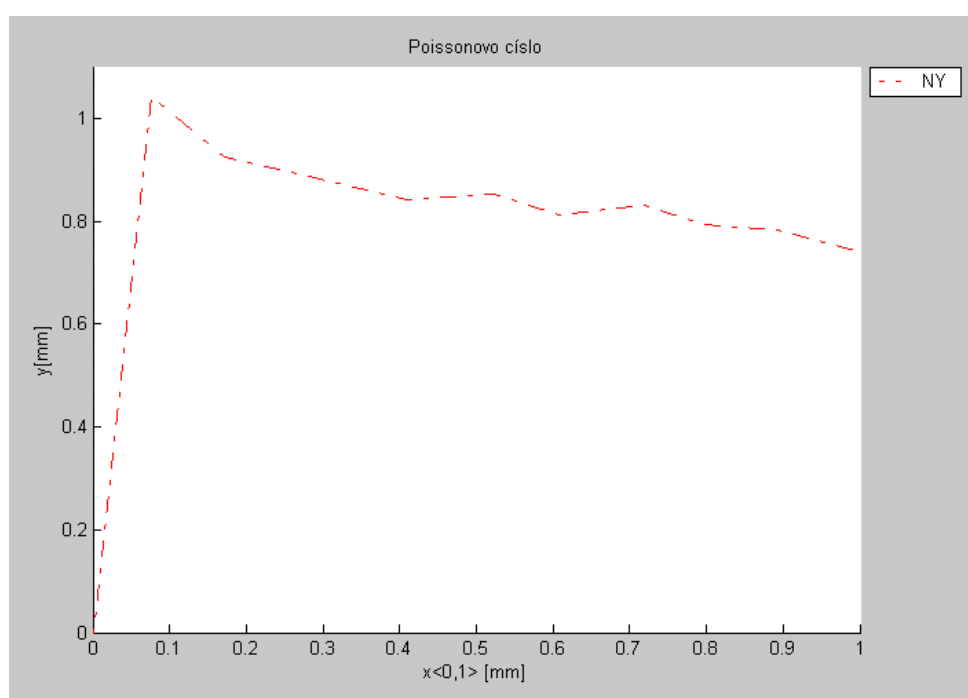
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

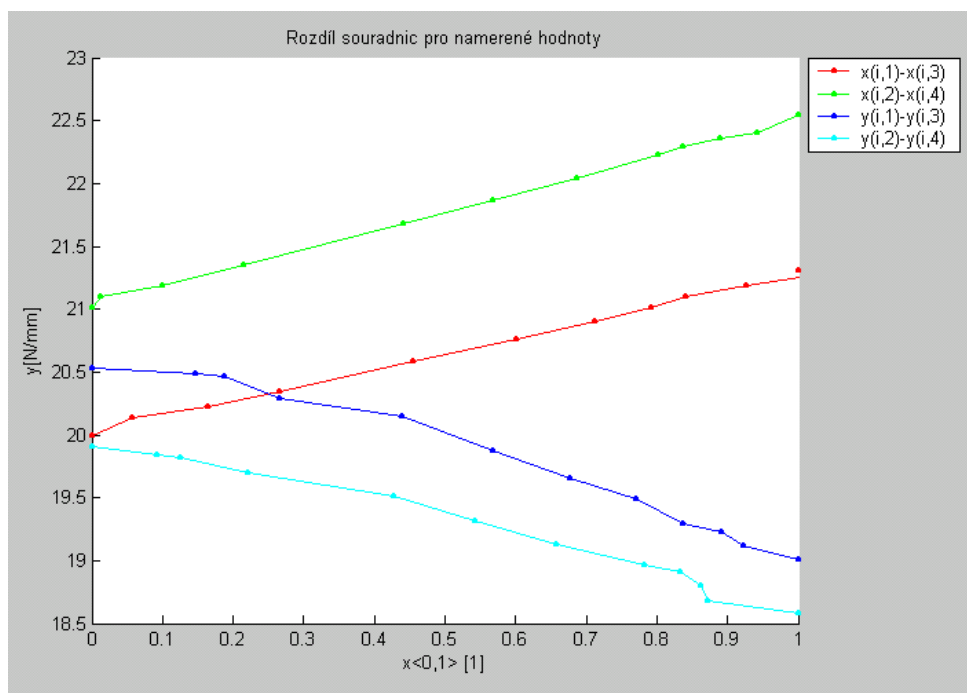


Příloha 4

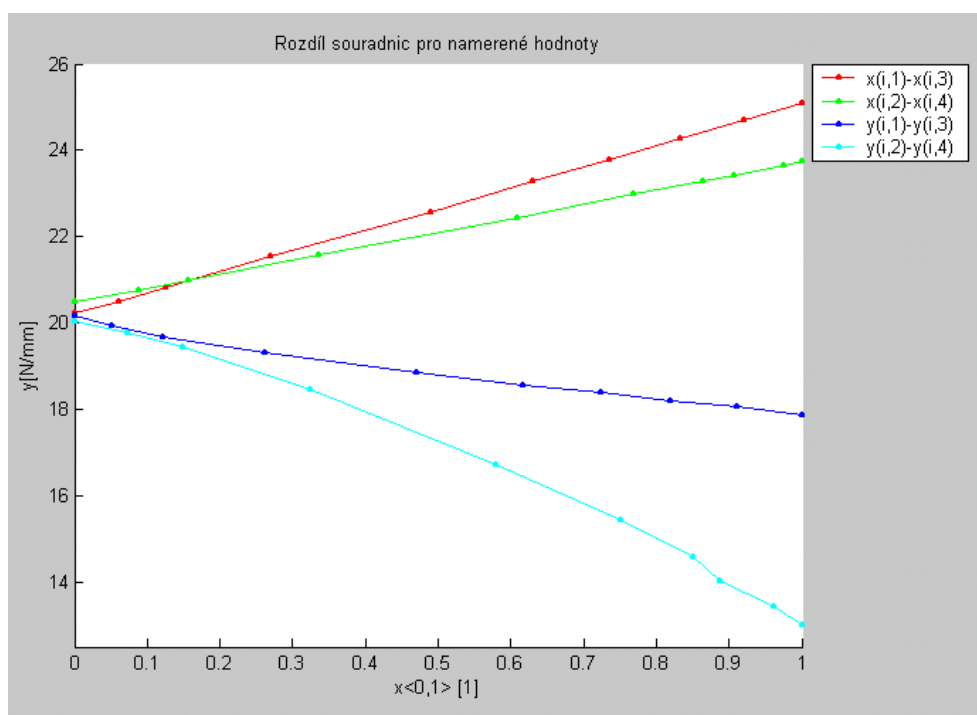
Grafy rozdílů souřadnic pro naměřené hodnoty

Uniaxiální namáhání

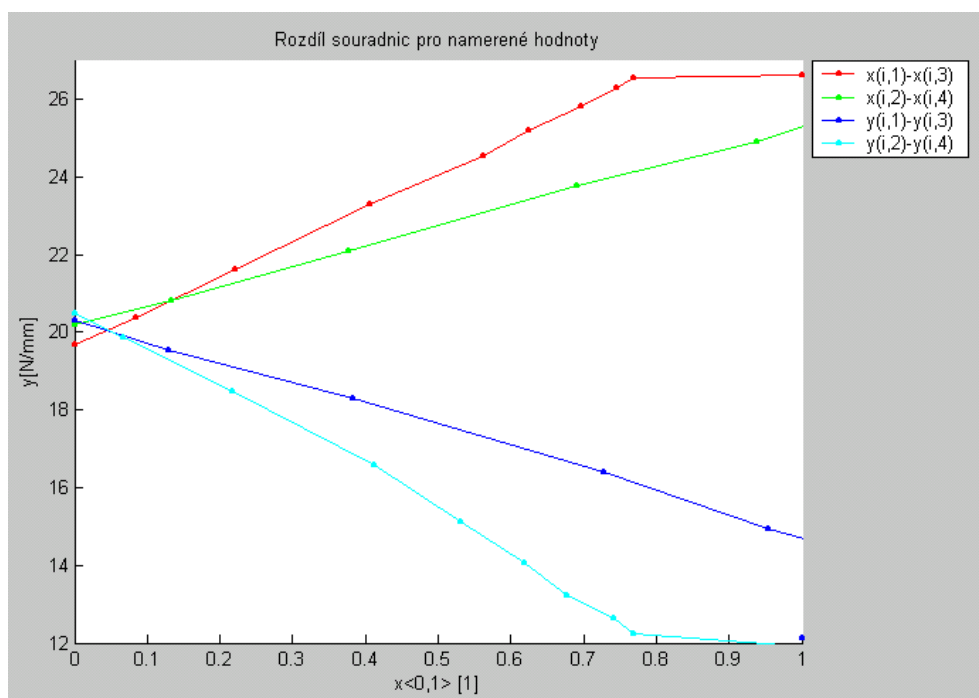
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



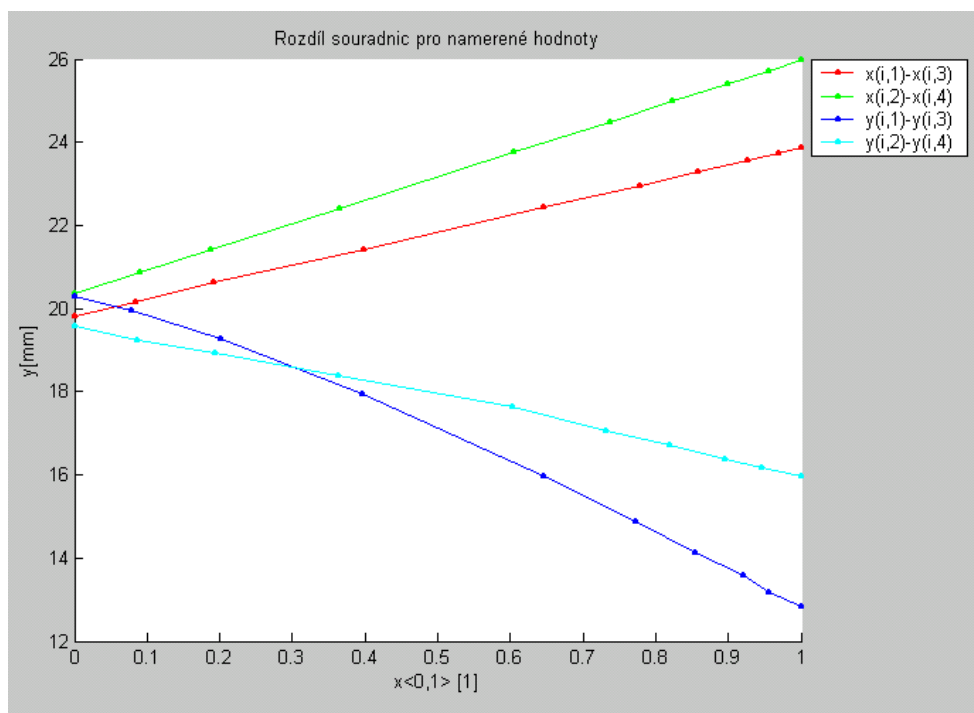
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



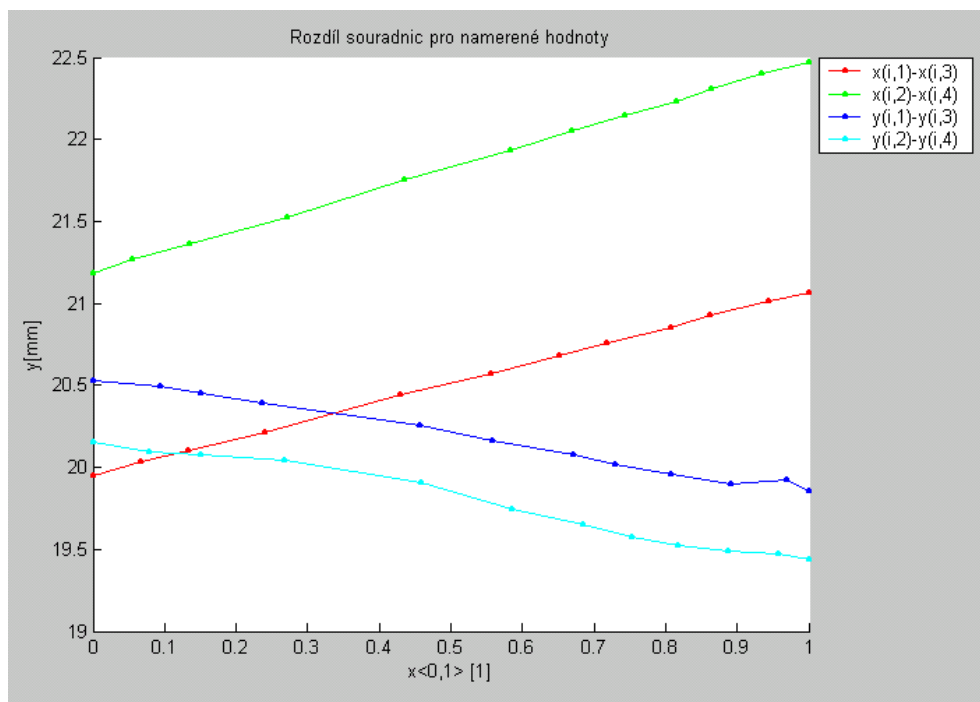
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

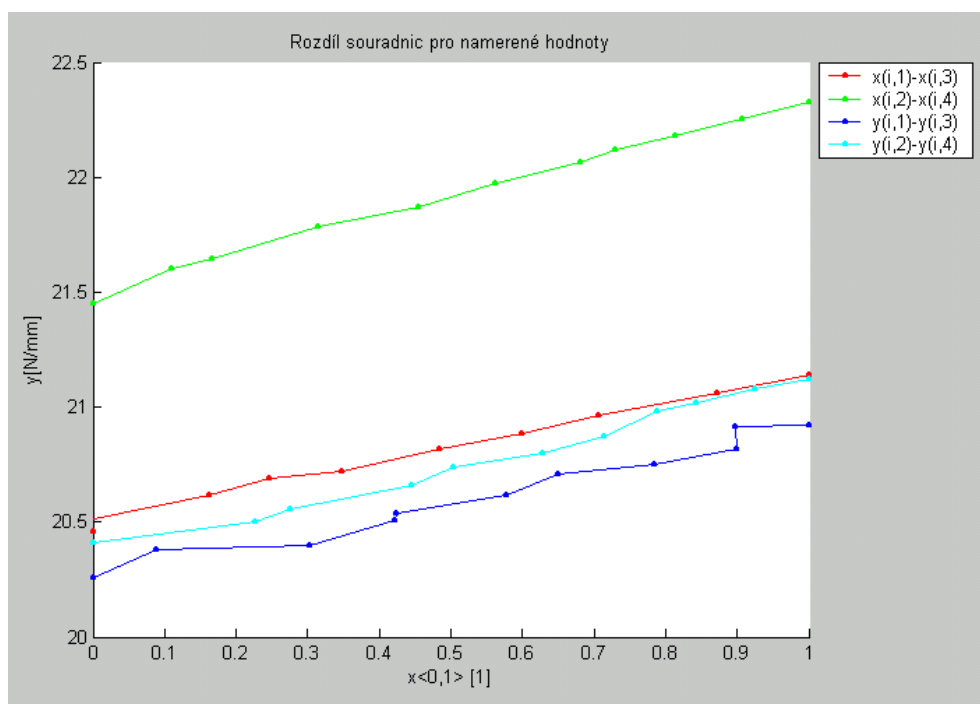


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90° - po útku

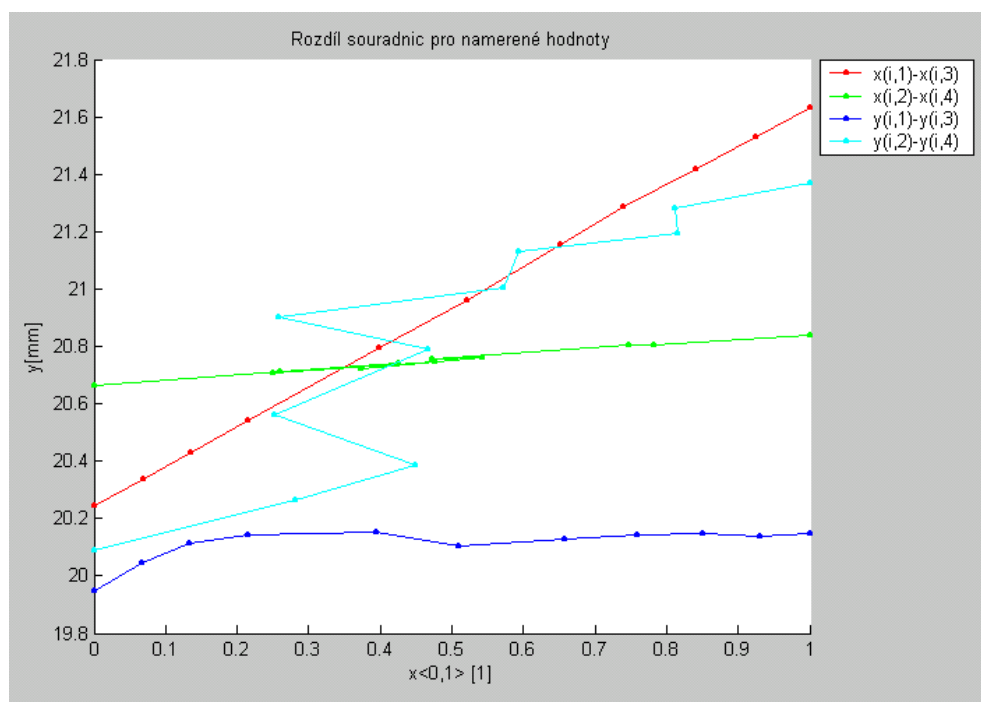


Biaxiální namáhání

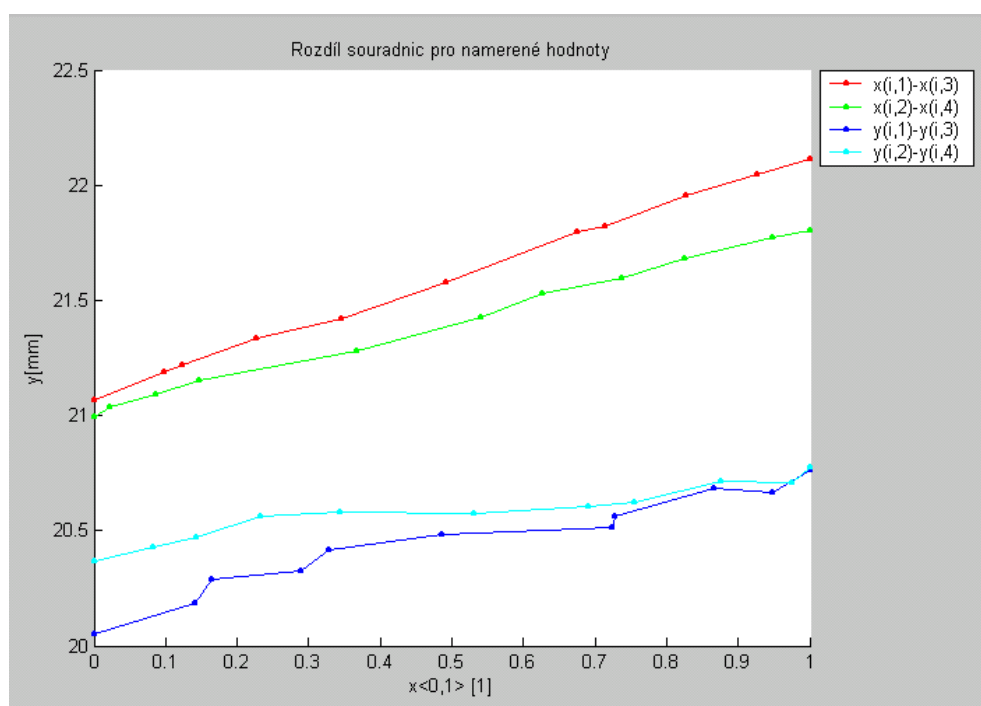
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



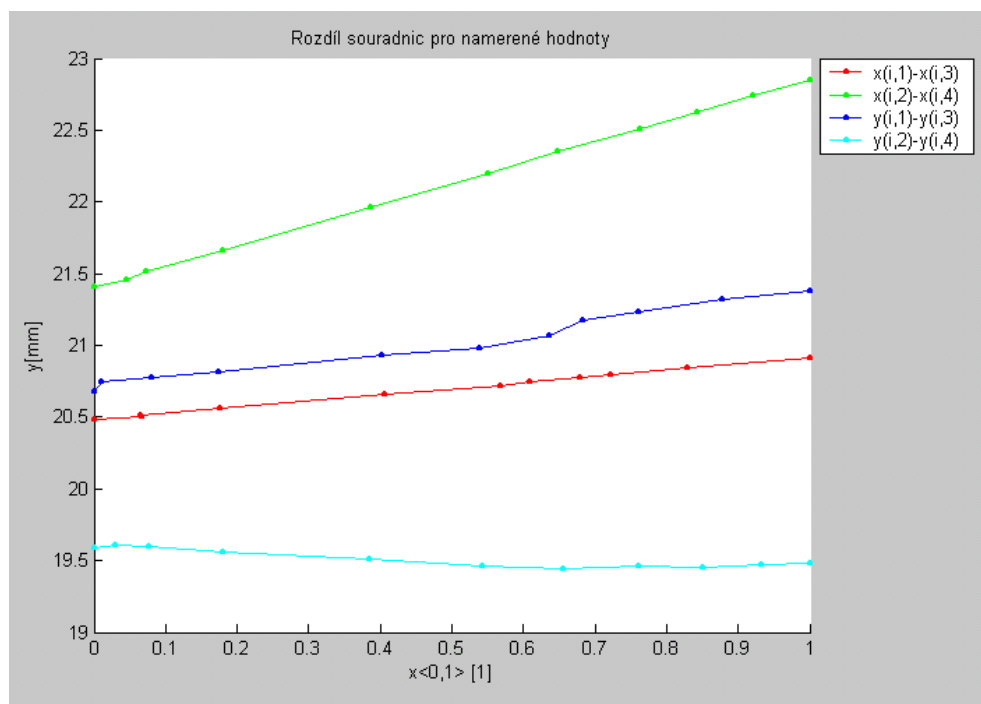
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



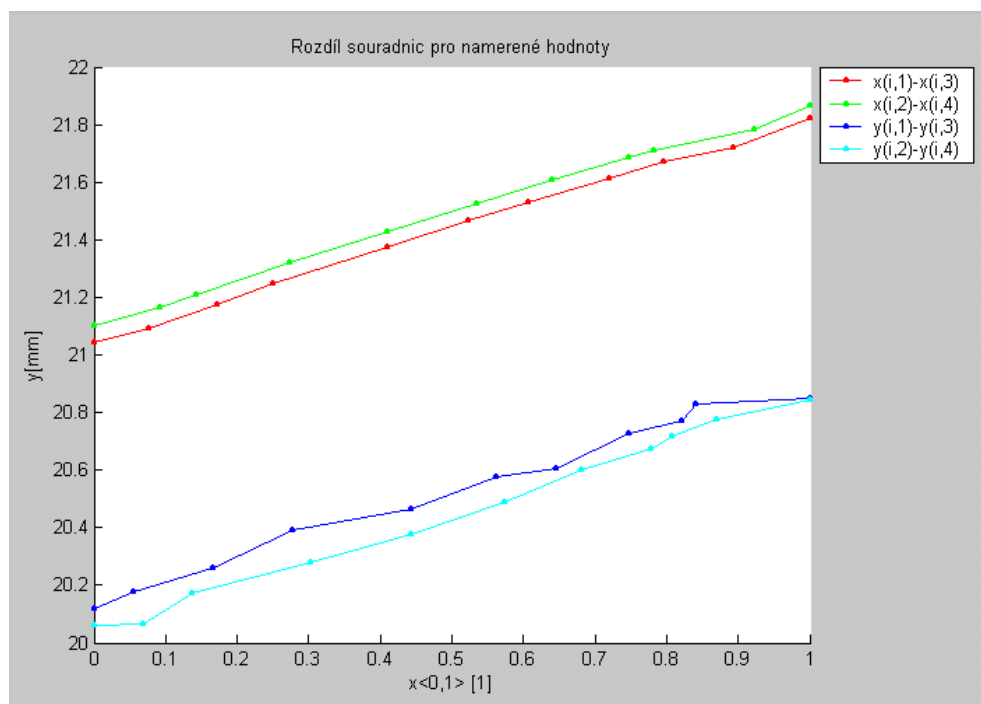
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

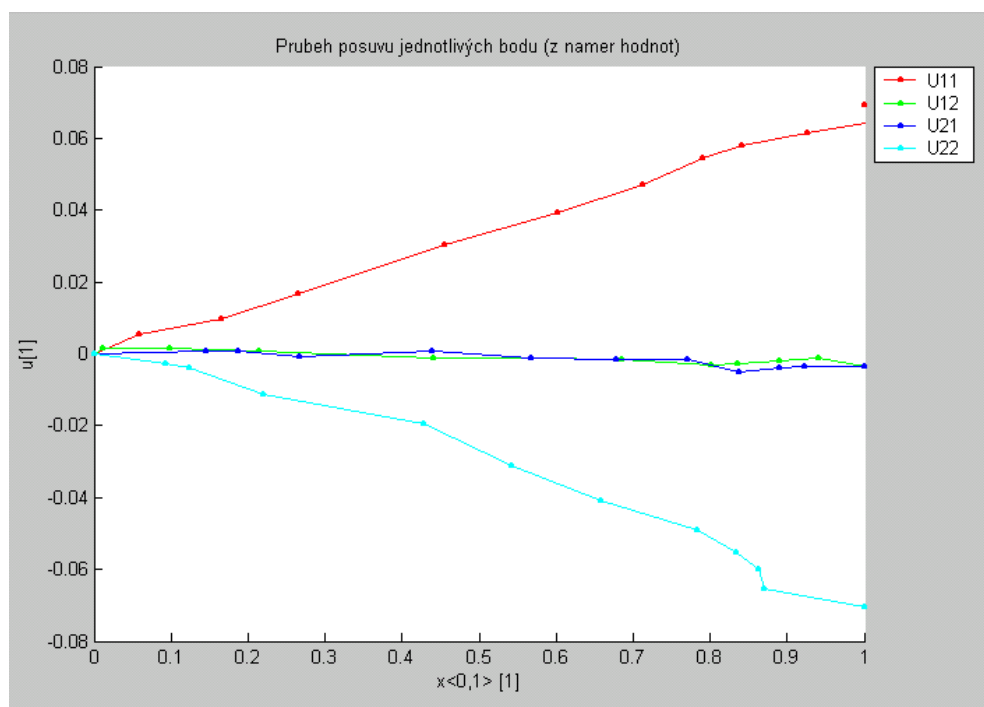


Příloha 5

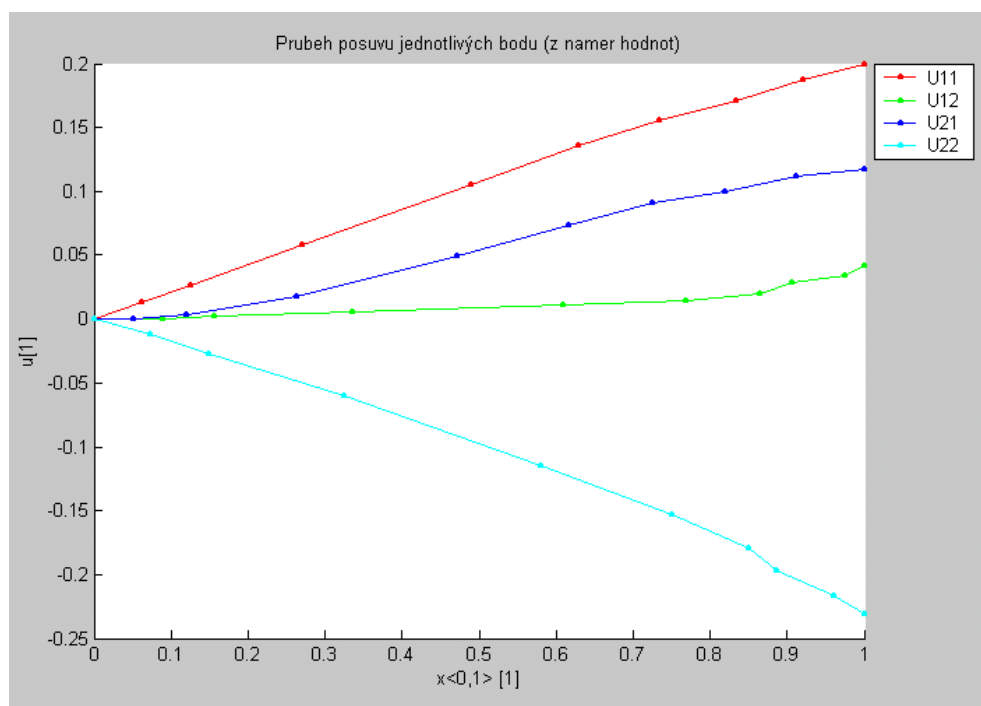
Grafy průběhu posuvů jednotlivých bodů

Uniaxiální namáhání

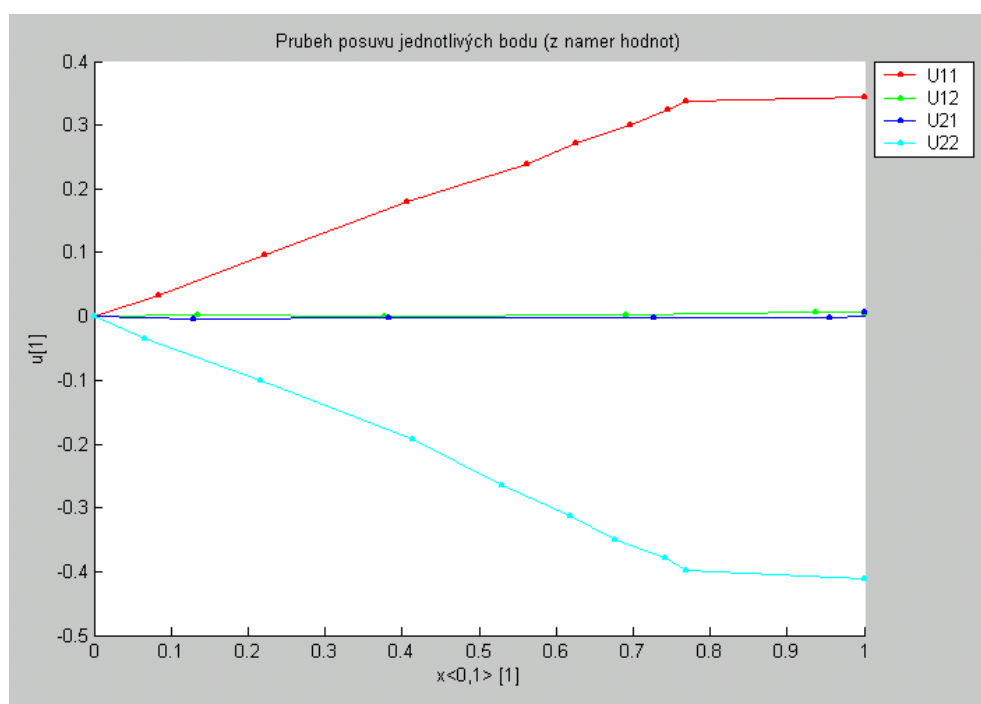
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



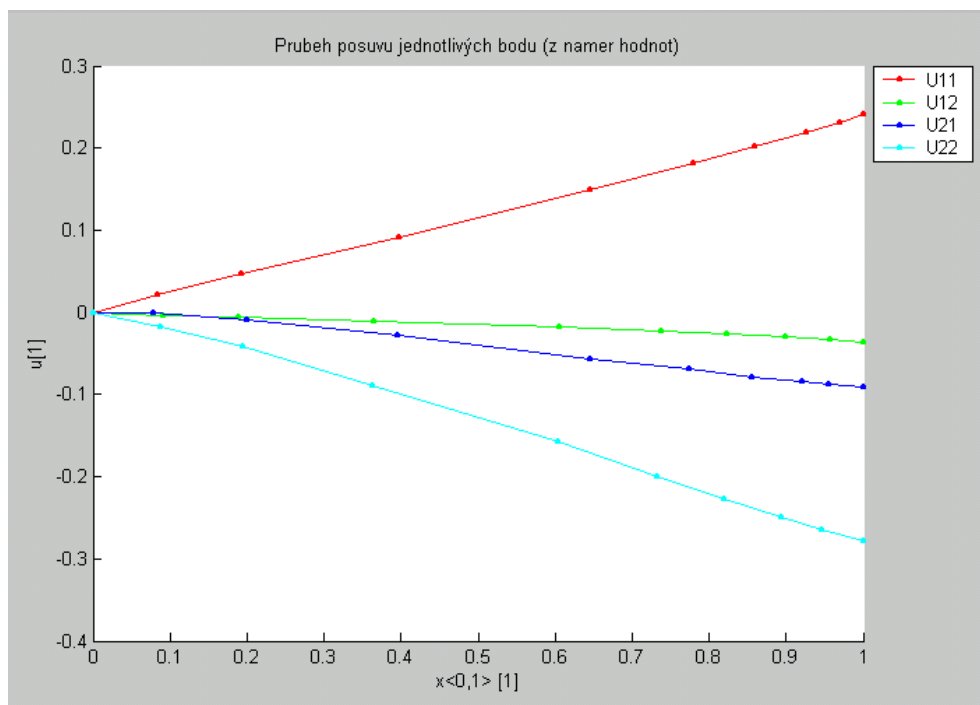
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



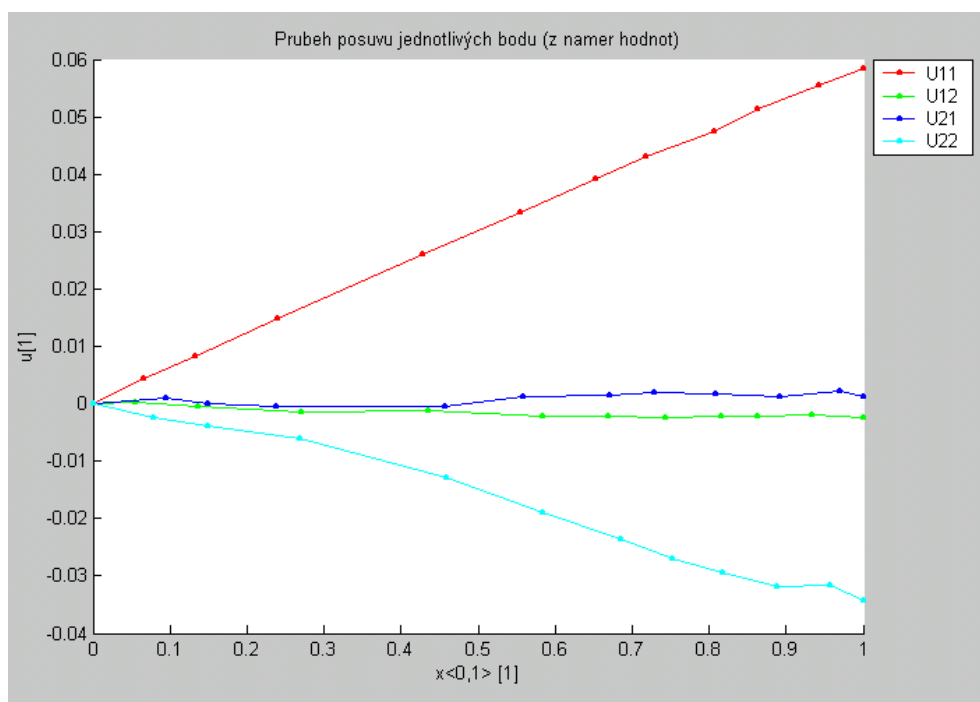
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

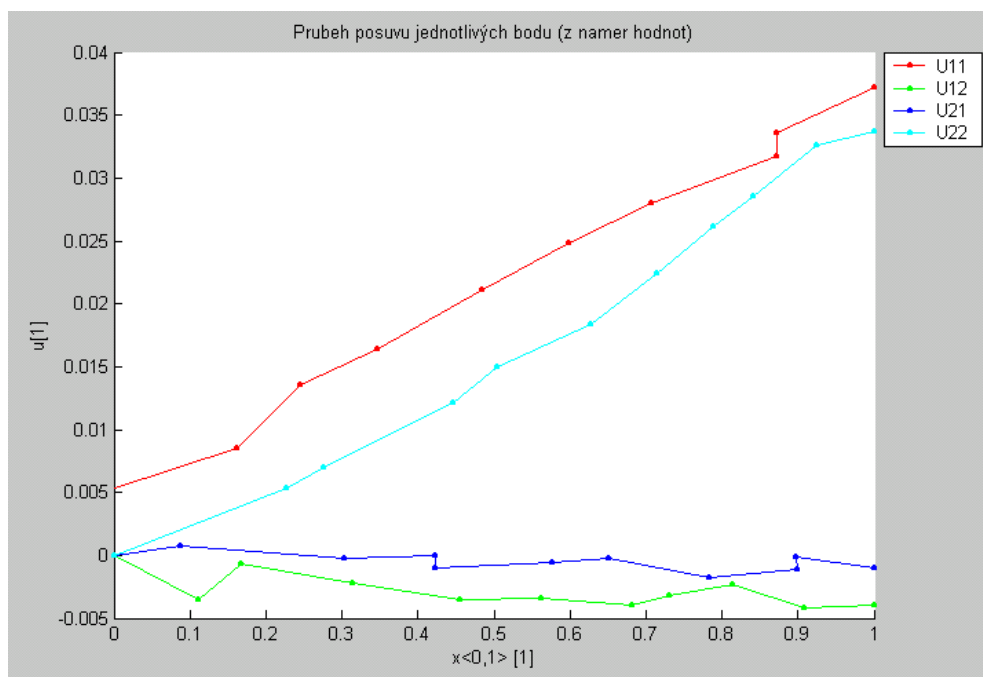


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

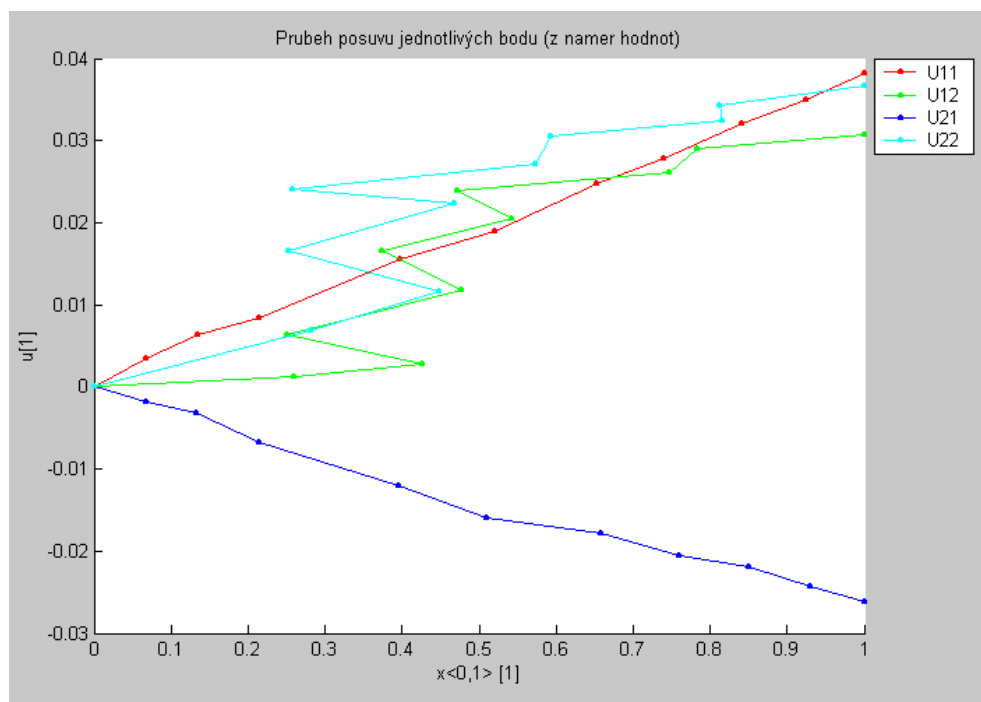


Biaxiální namáhání

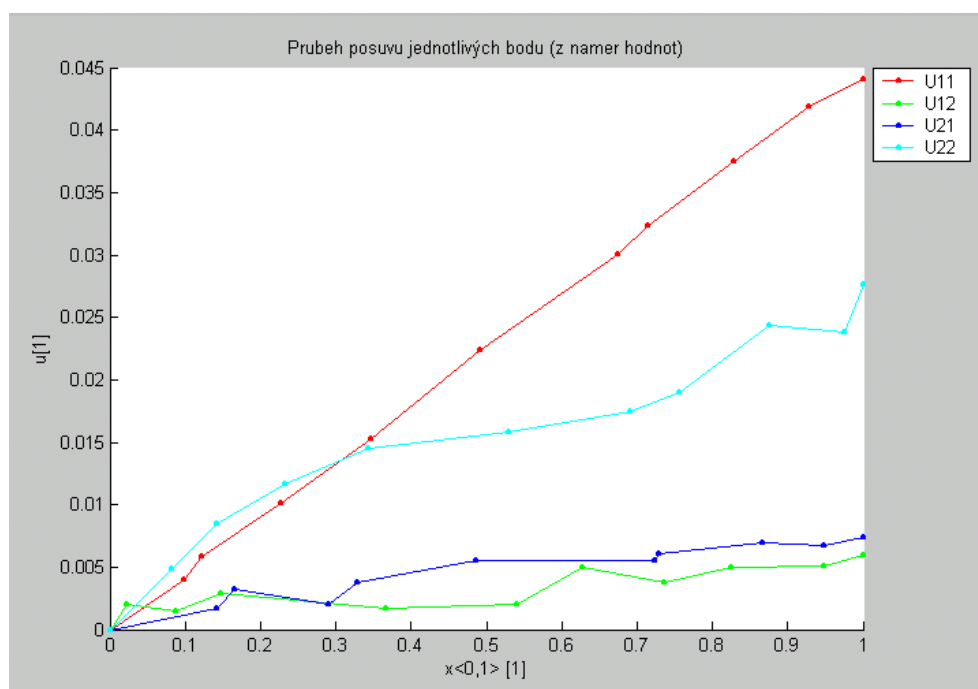
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



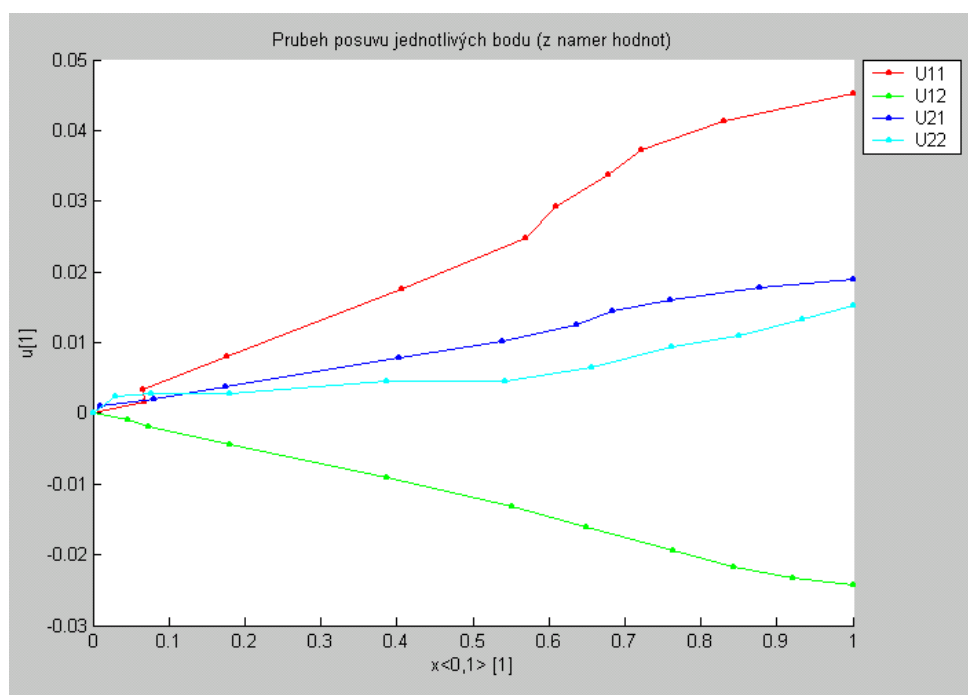
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



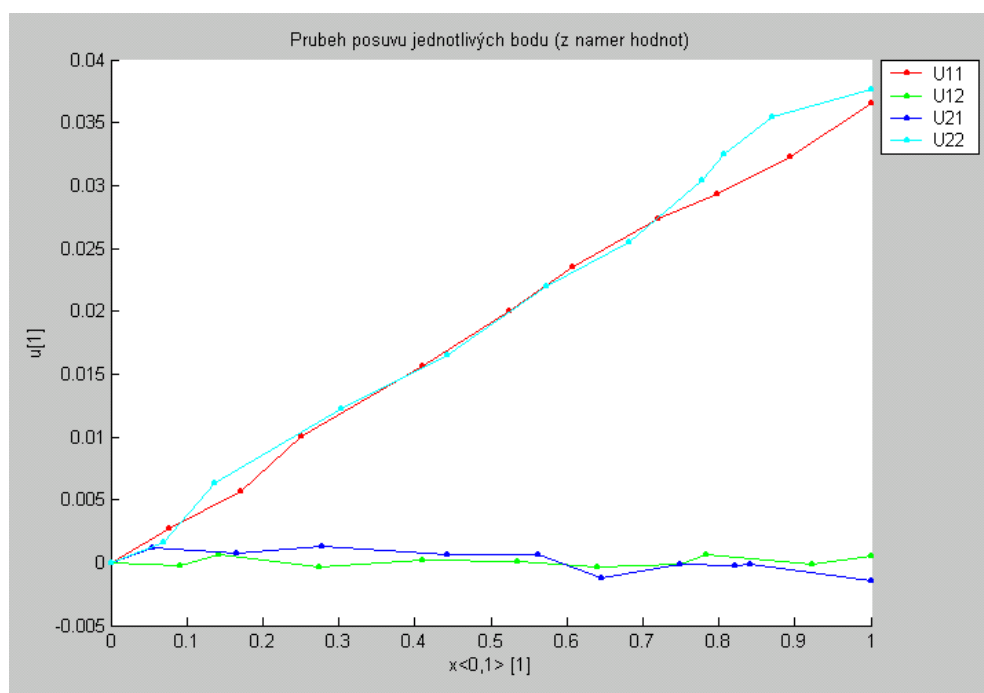
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

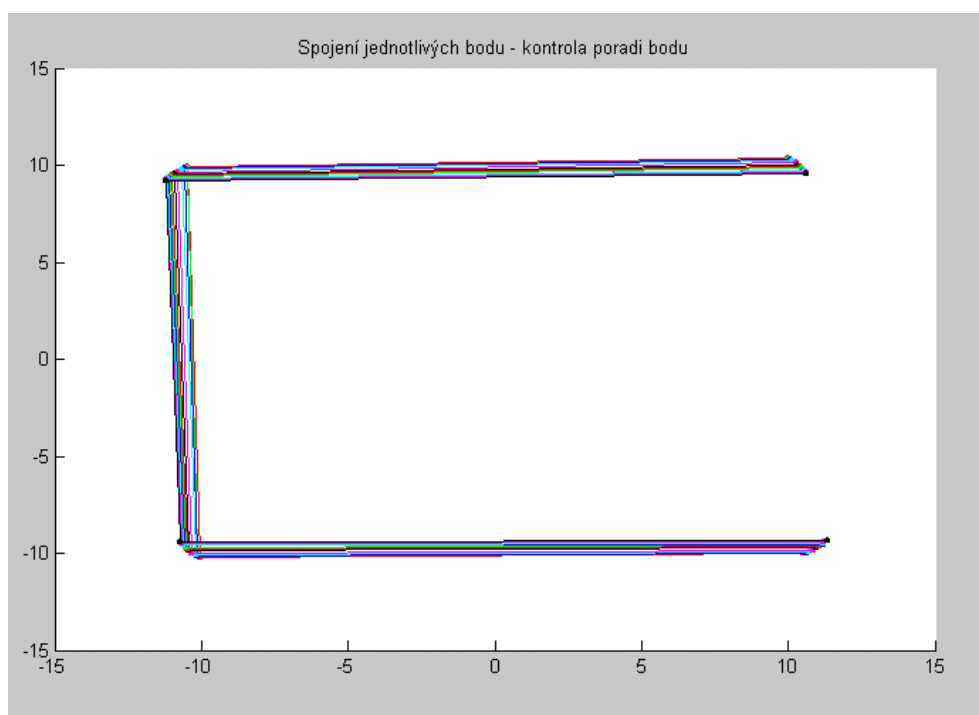


Příloha 6

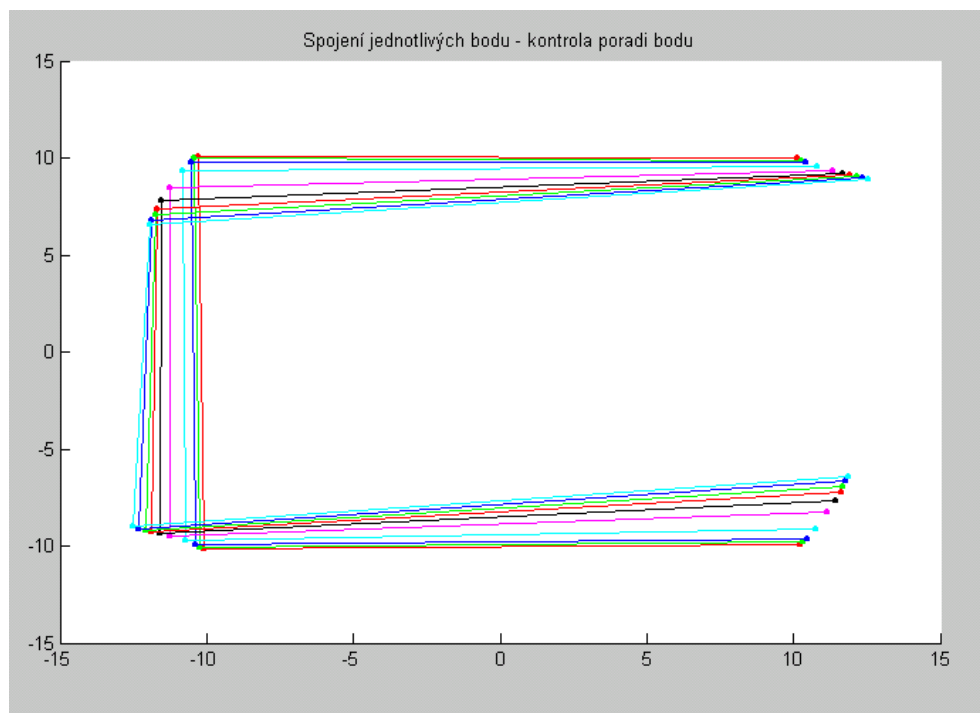
Grafy spojení jednotlivých bodů – kontrola pořadí bodů

Uniaxiální namáhání

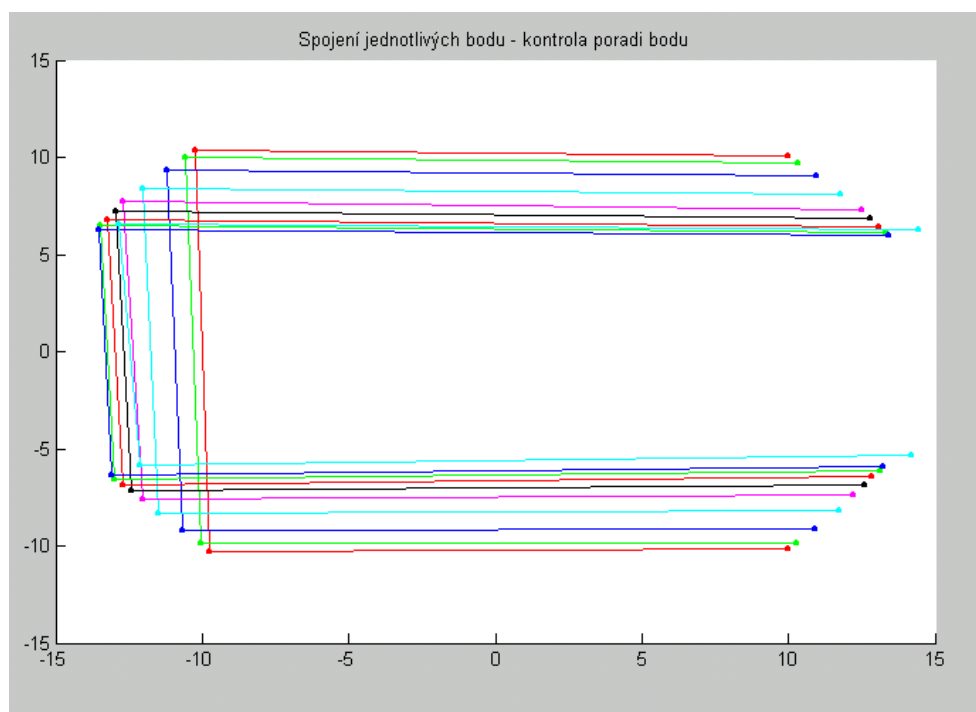
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



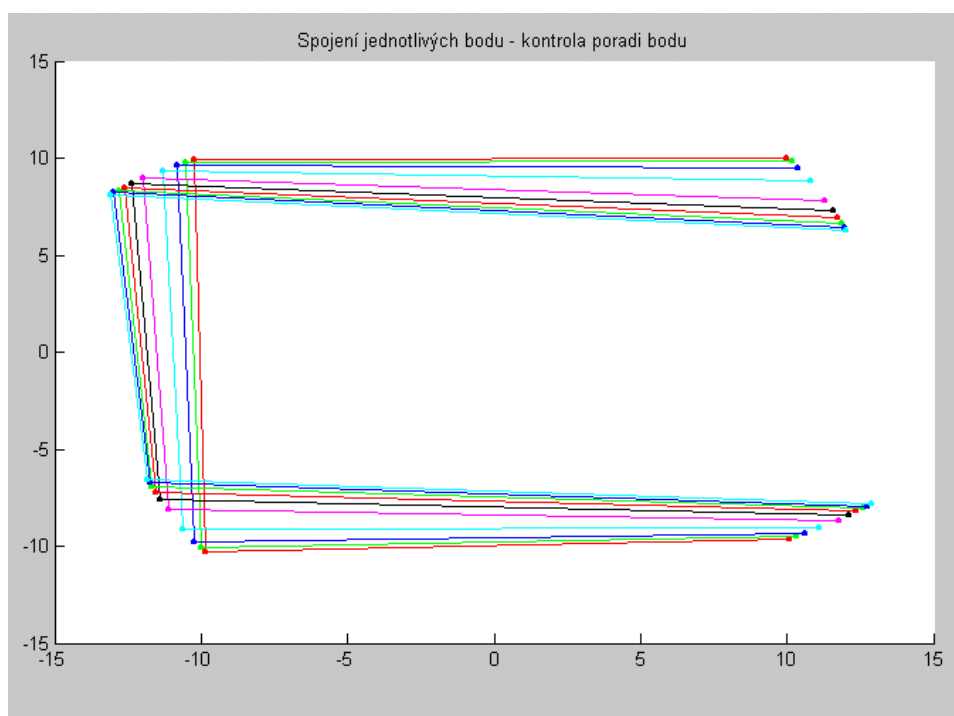
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



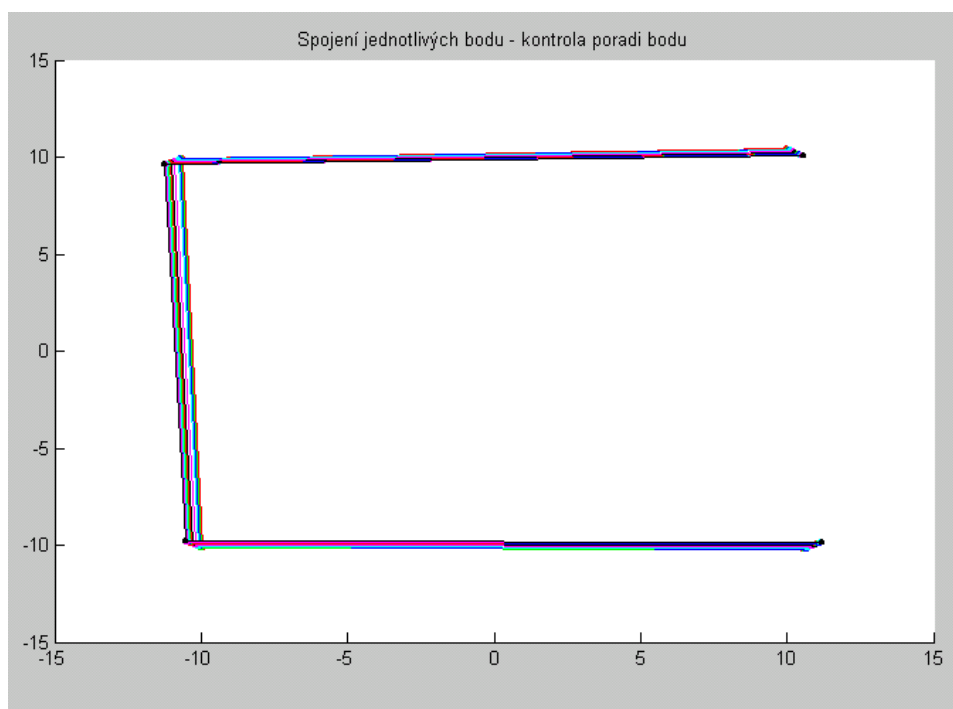
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

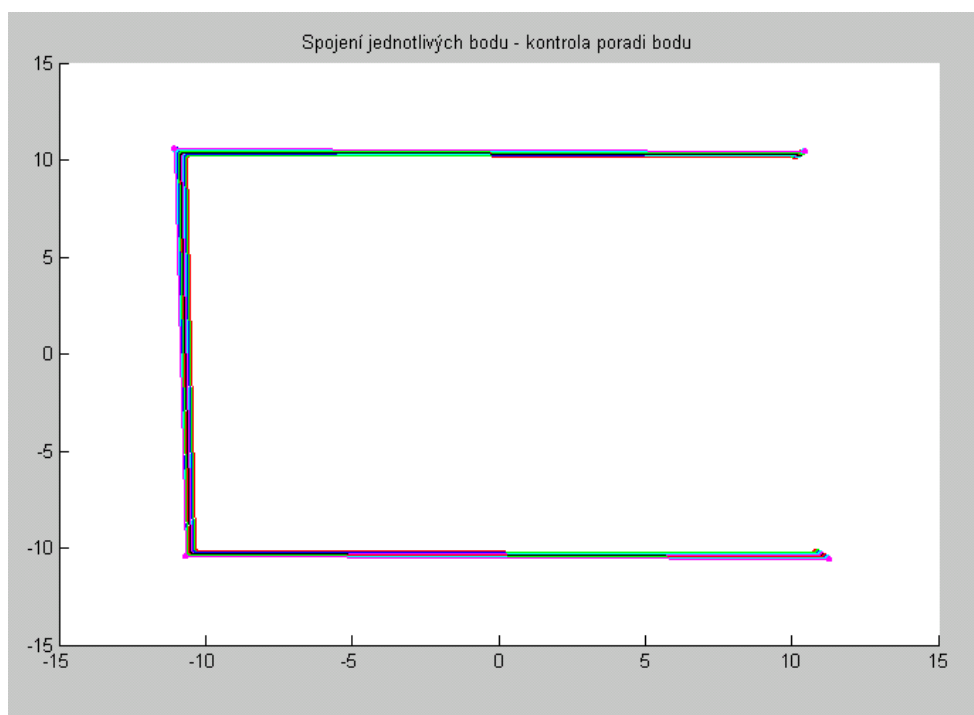


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

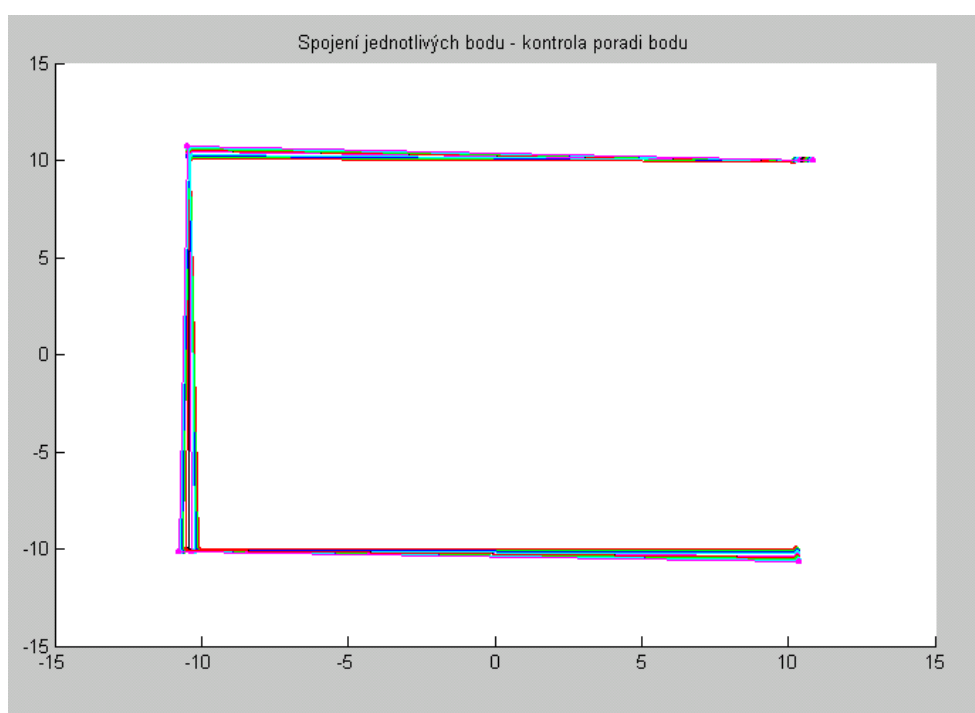


Biaxiální namáhání

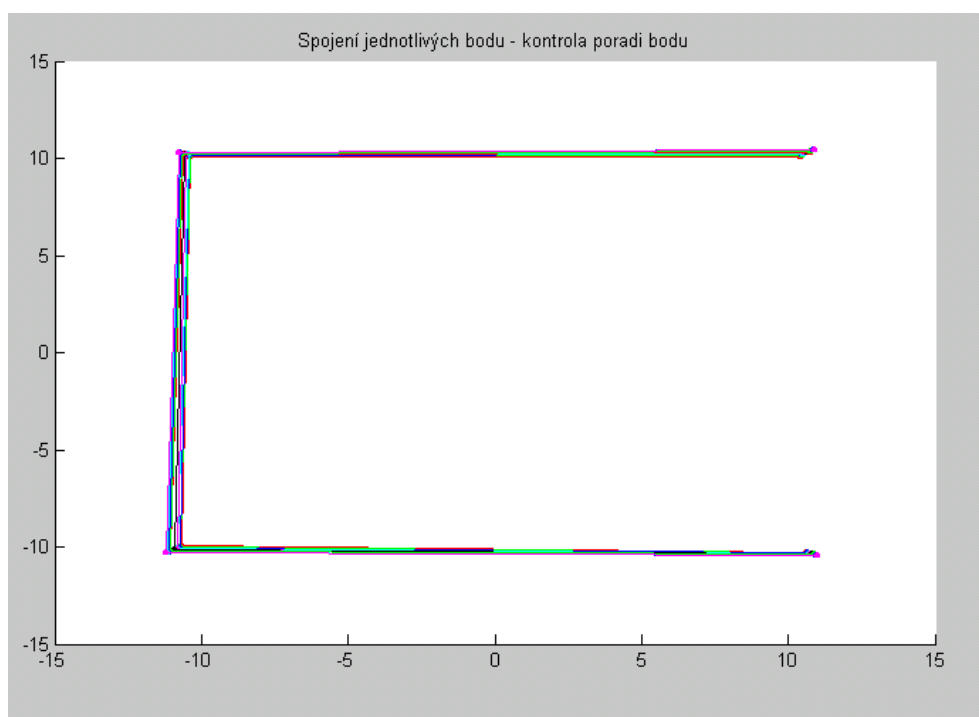
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



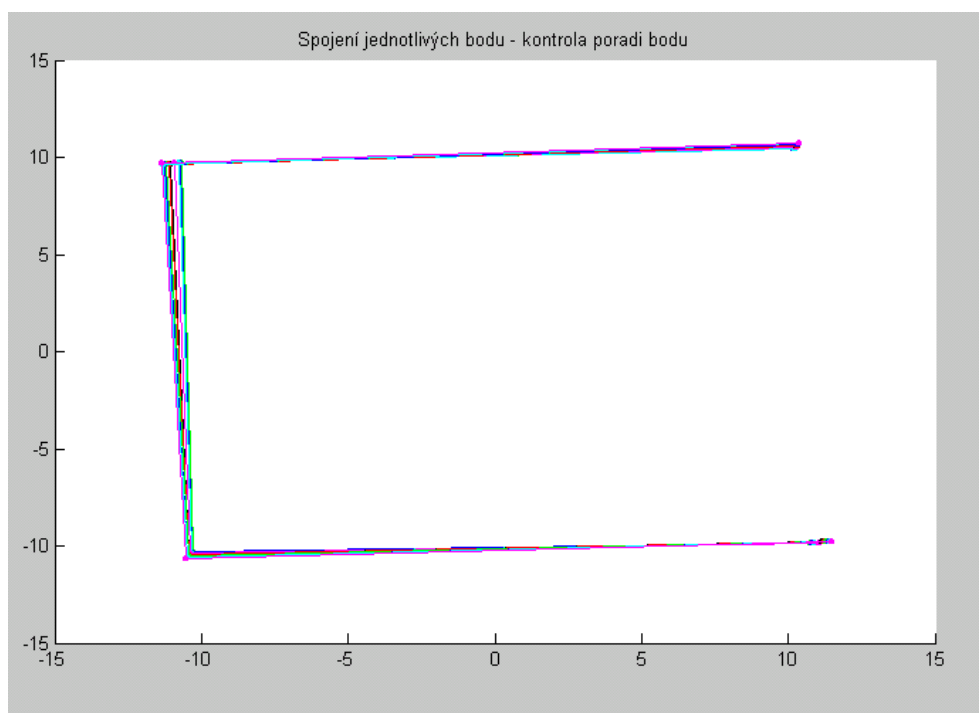
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



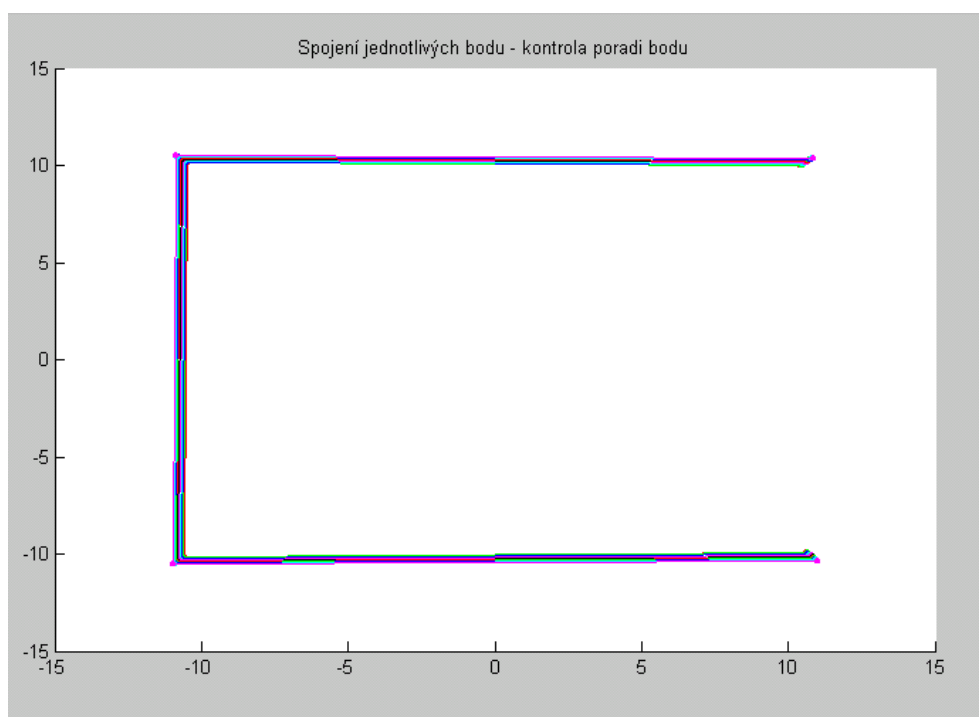
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

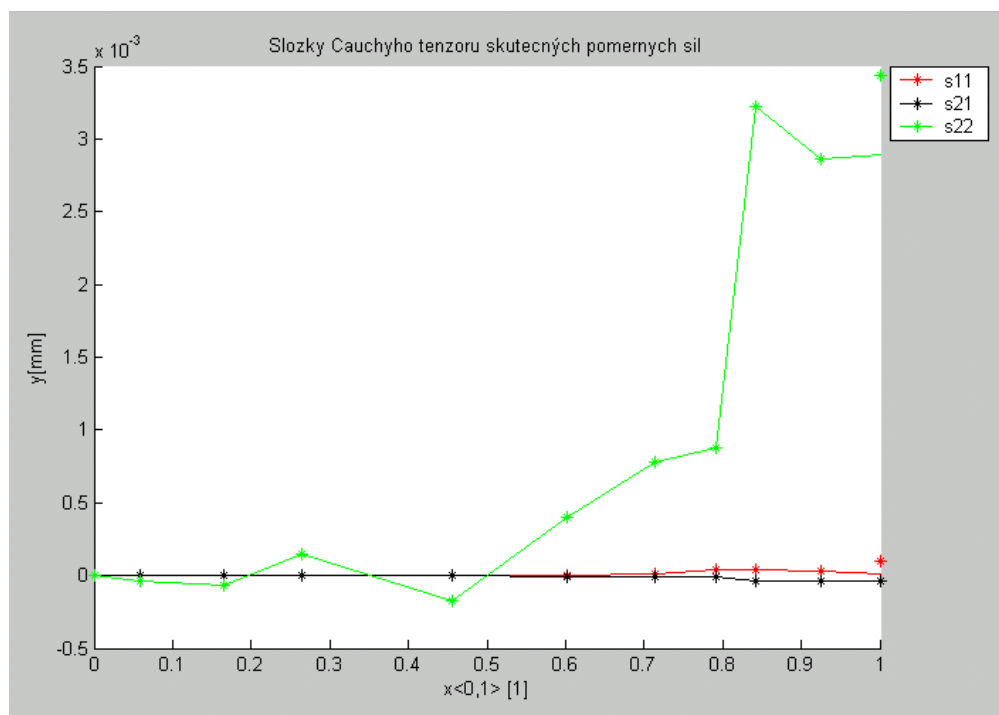


Příloha 7

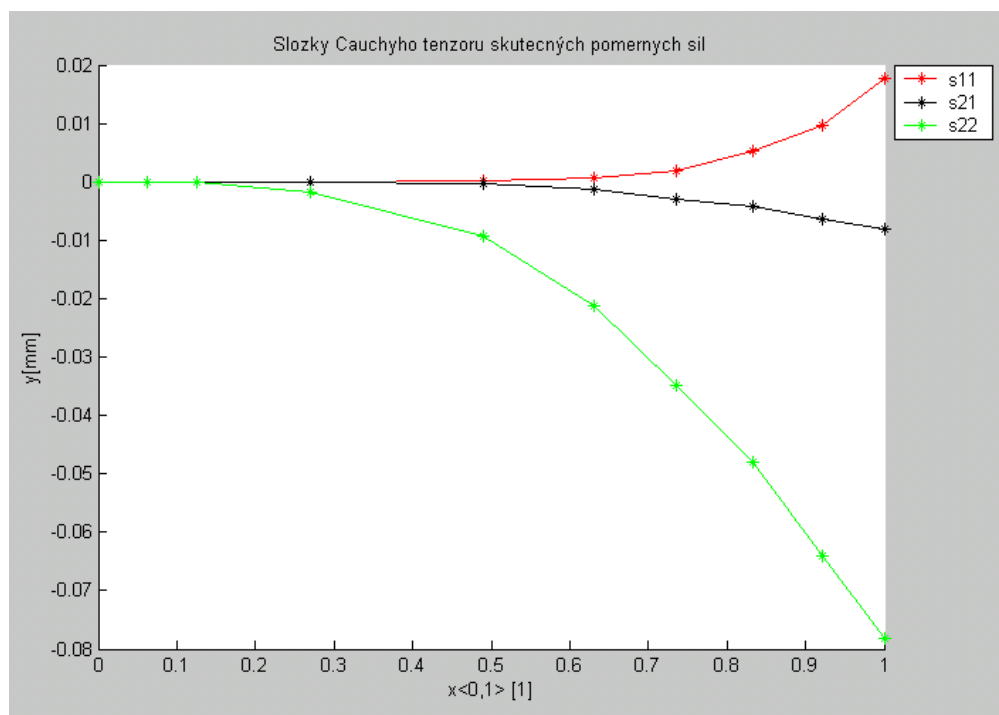
Grafy složek Cauchyho tenzoru poměrných sil

Uniaxiální namáhání

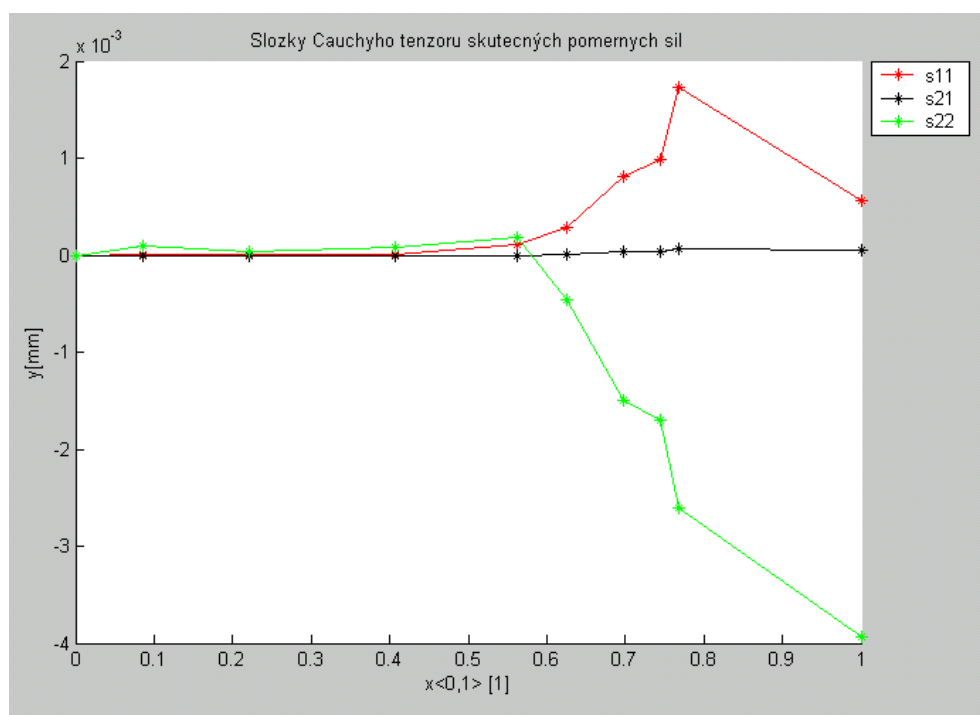
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



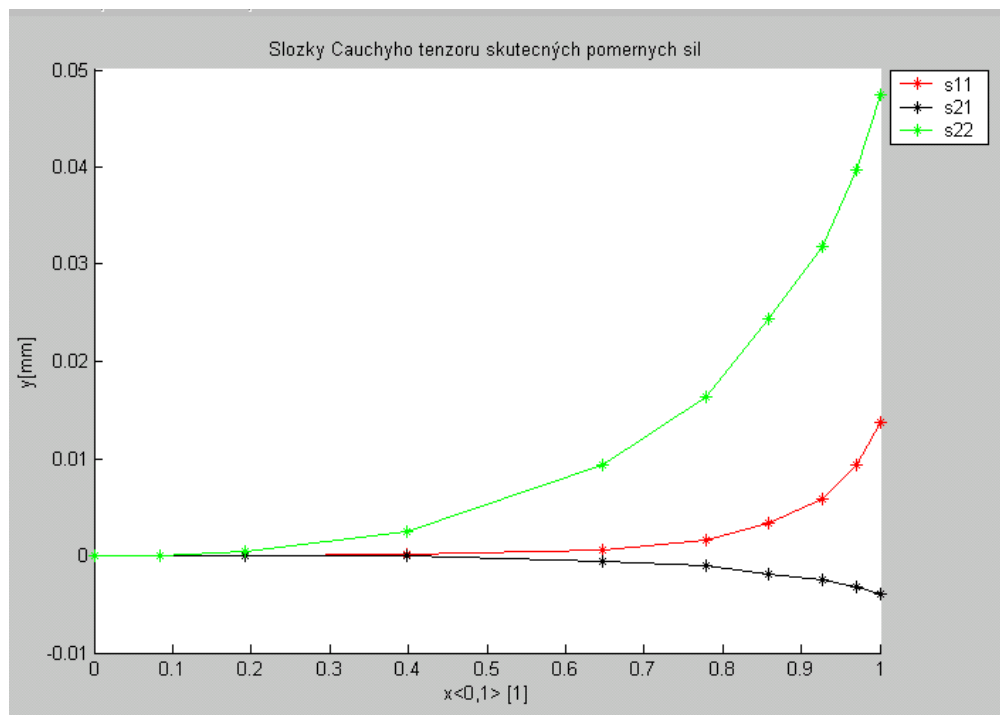
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



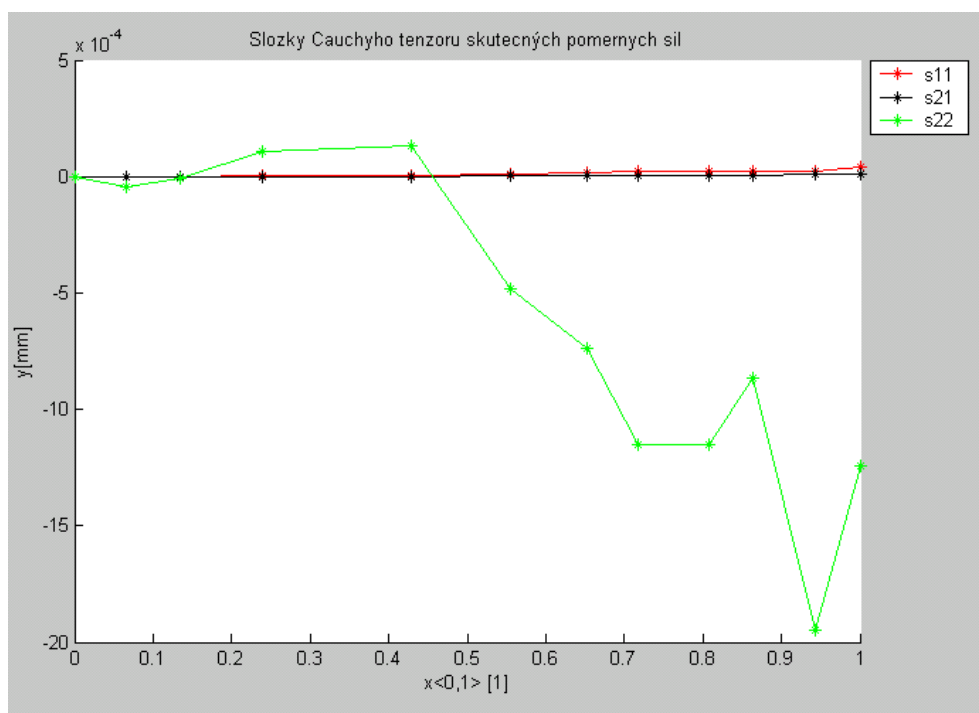
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

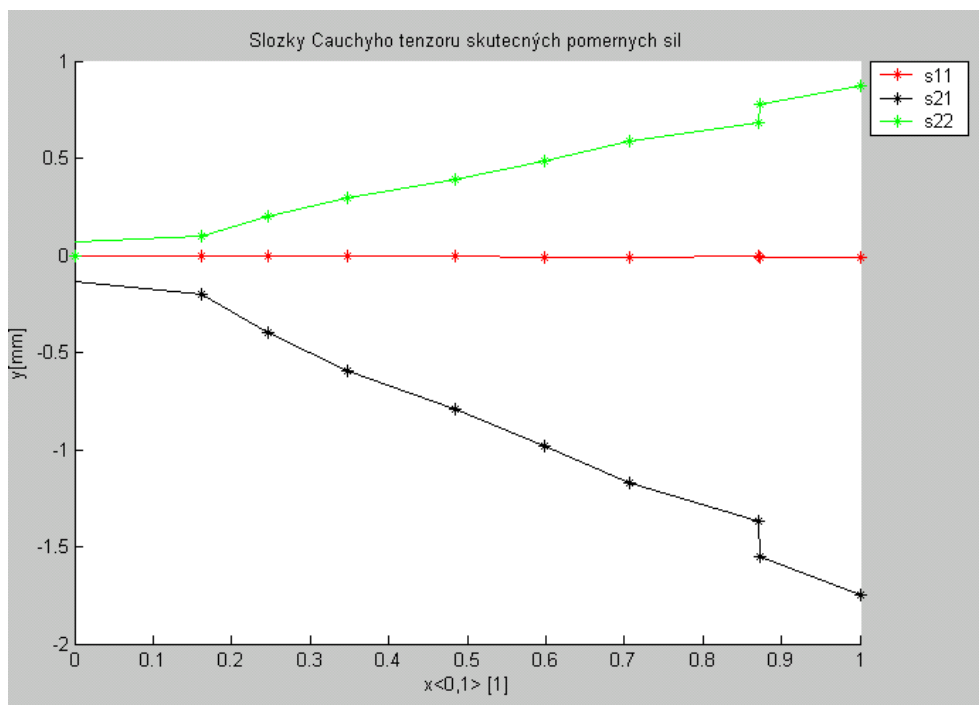


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

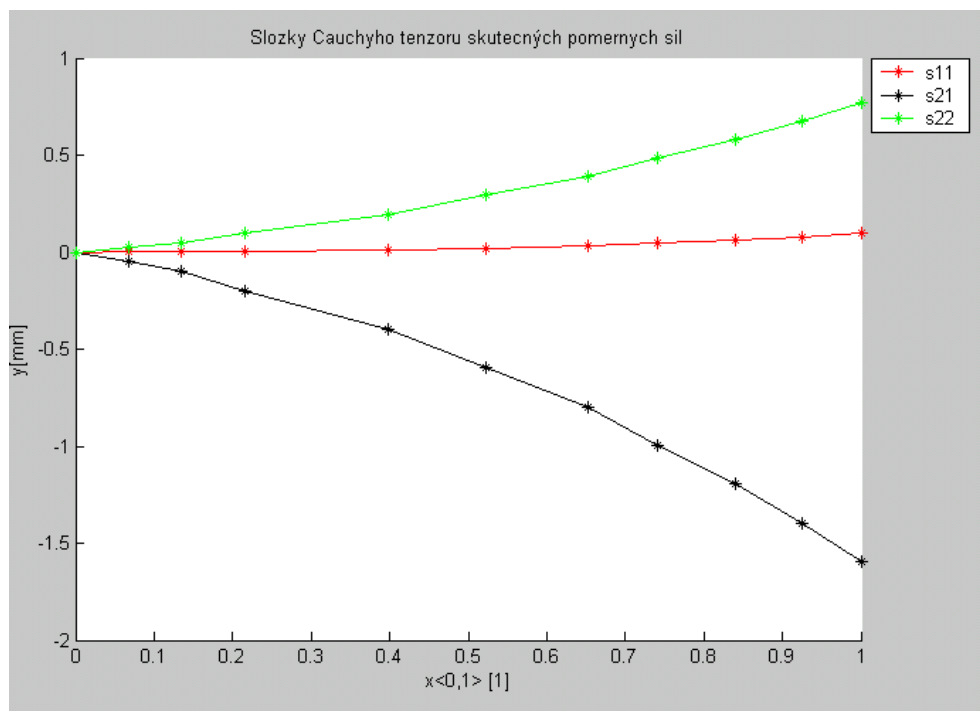


Biaxiální namáhání

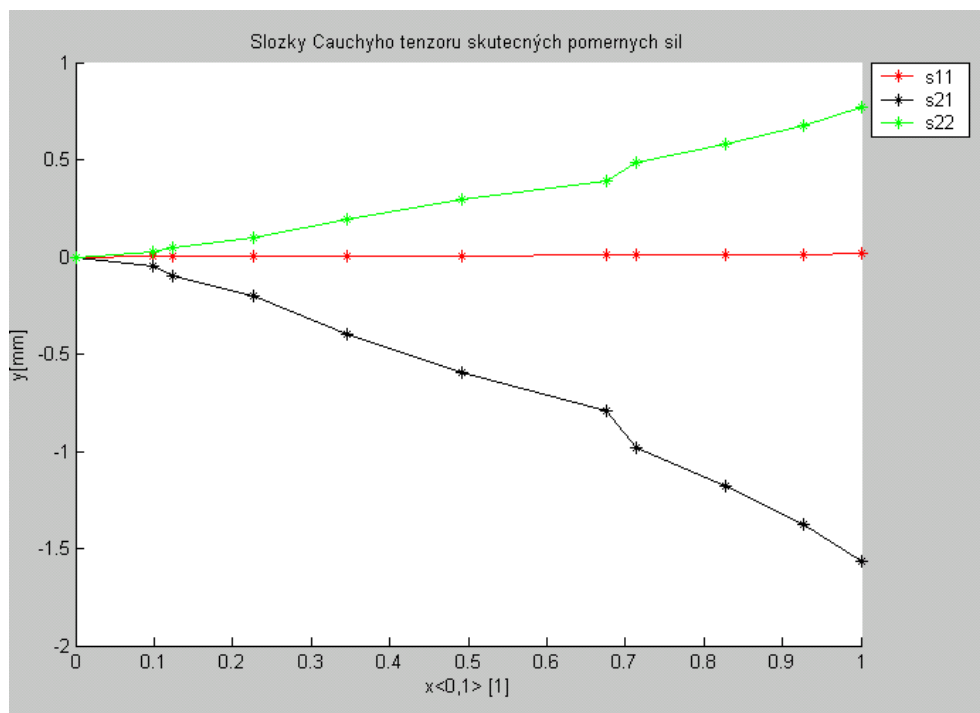
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



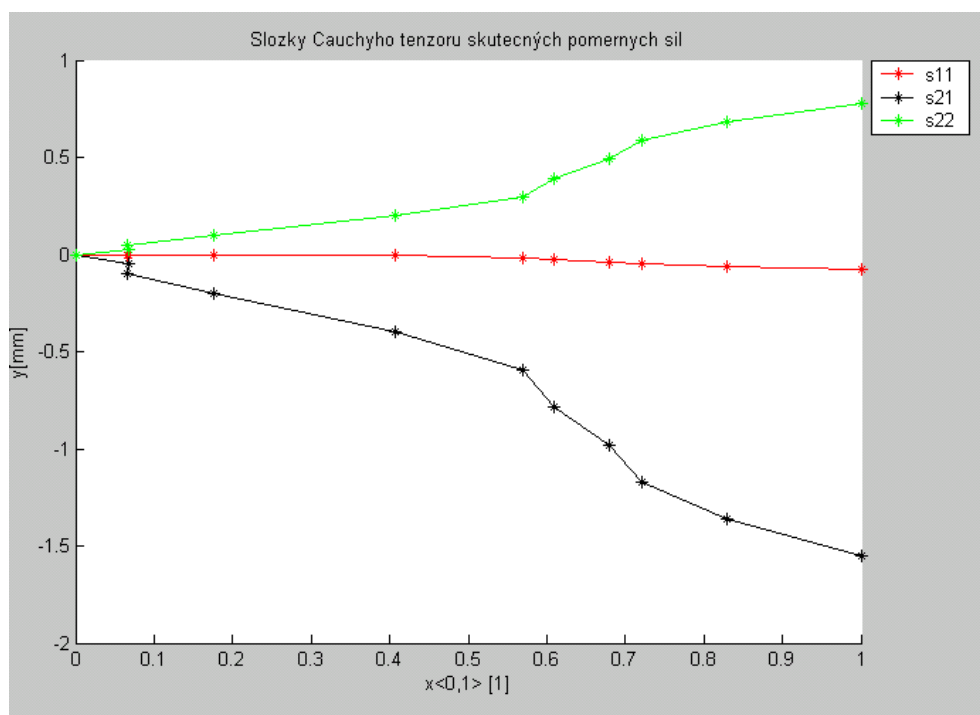
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



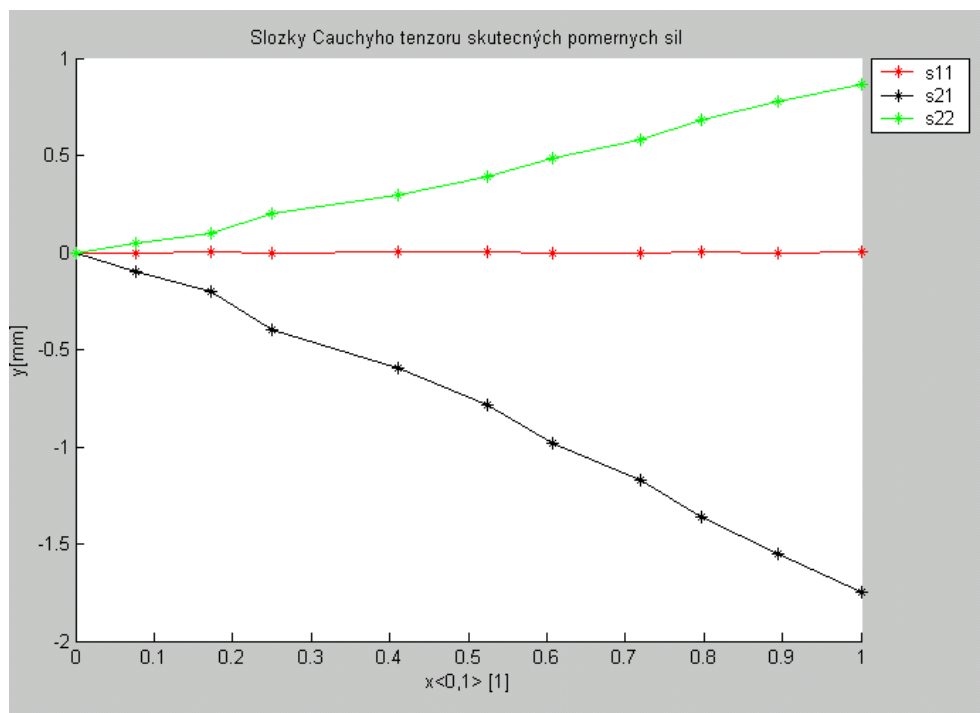
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

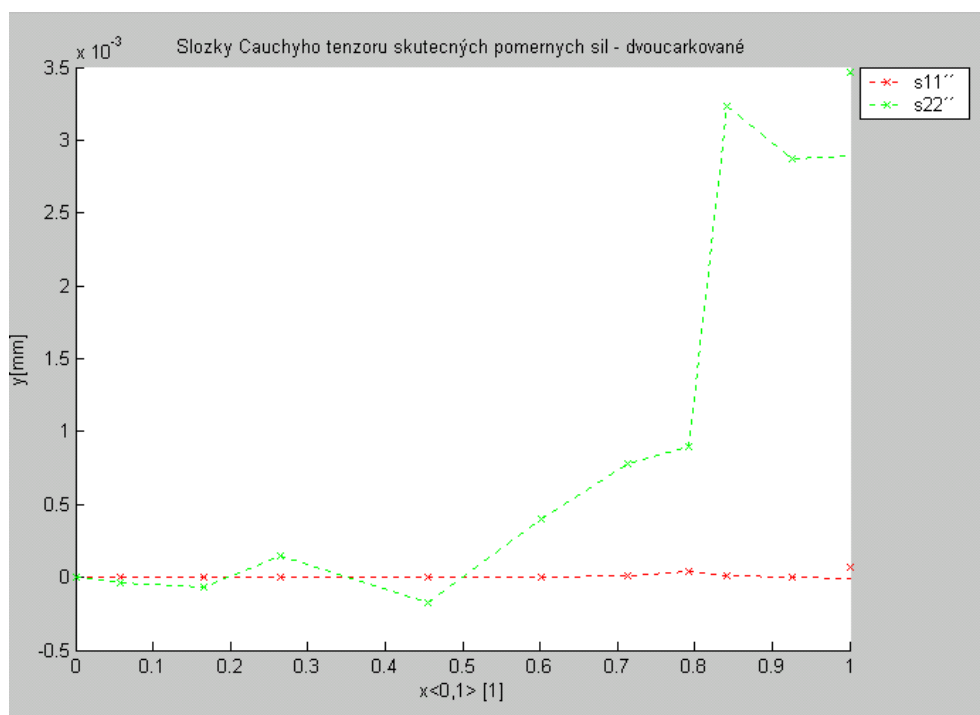


Příloha 8

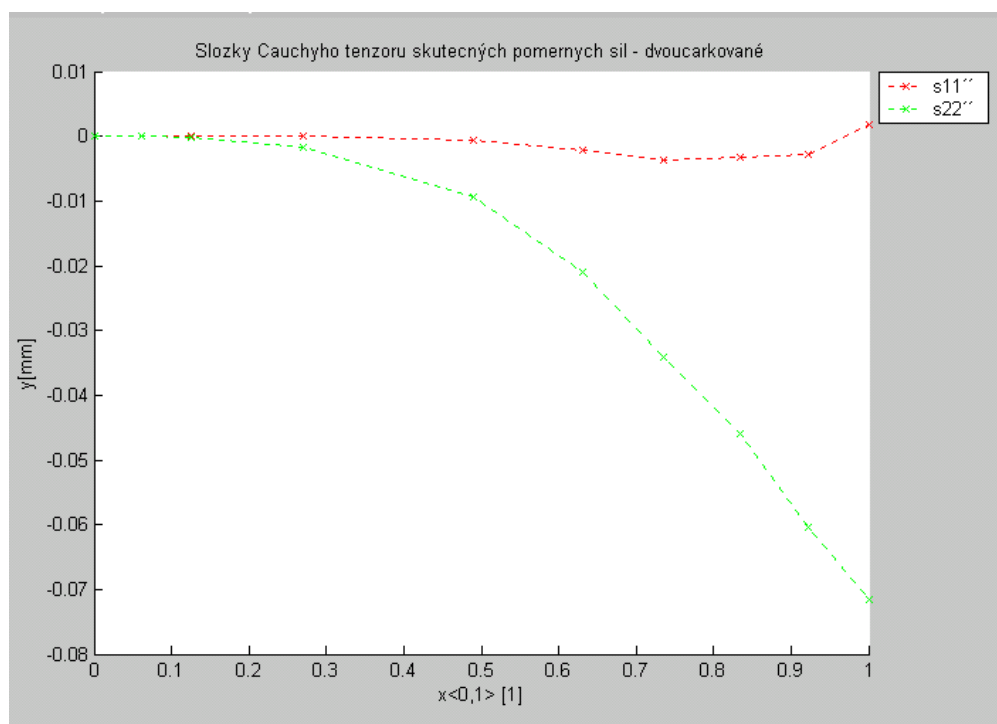
**Grafy složek Cauchyho tenzoru poměrných sil -
dvoučárkované**

Uniaxiální namáhání

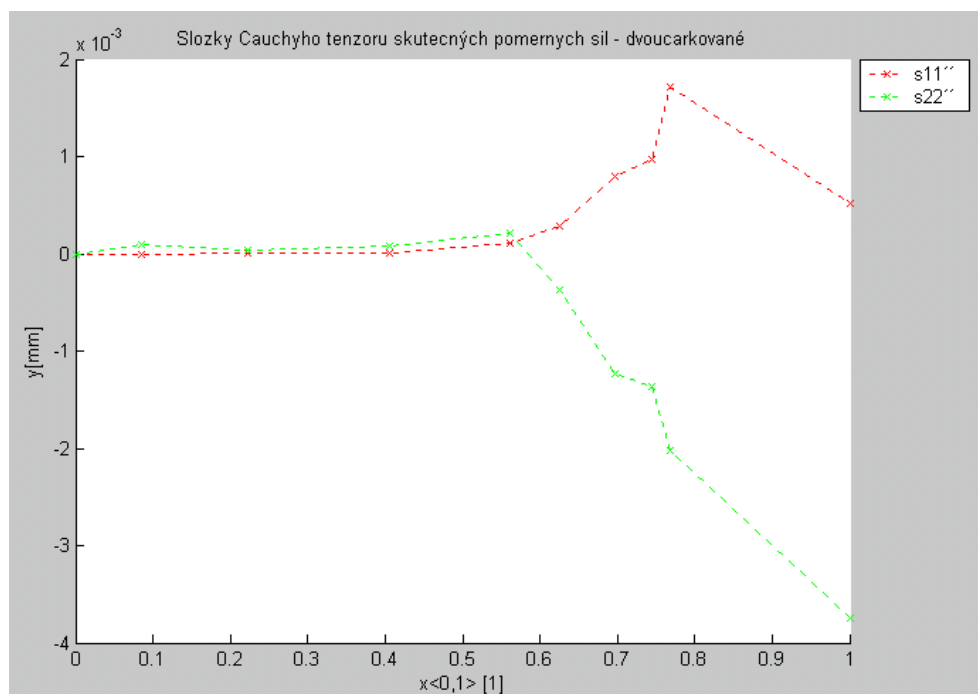
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



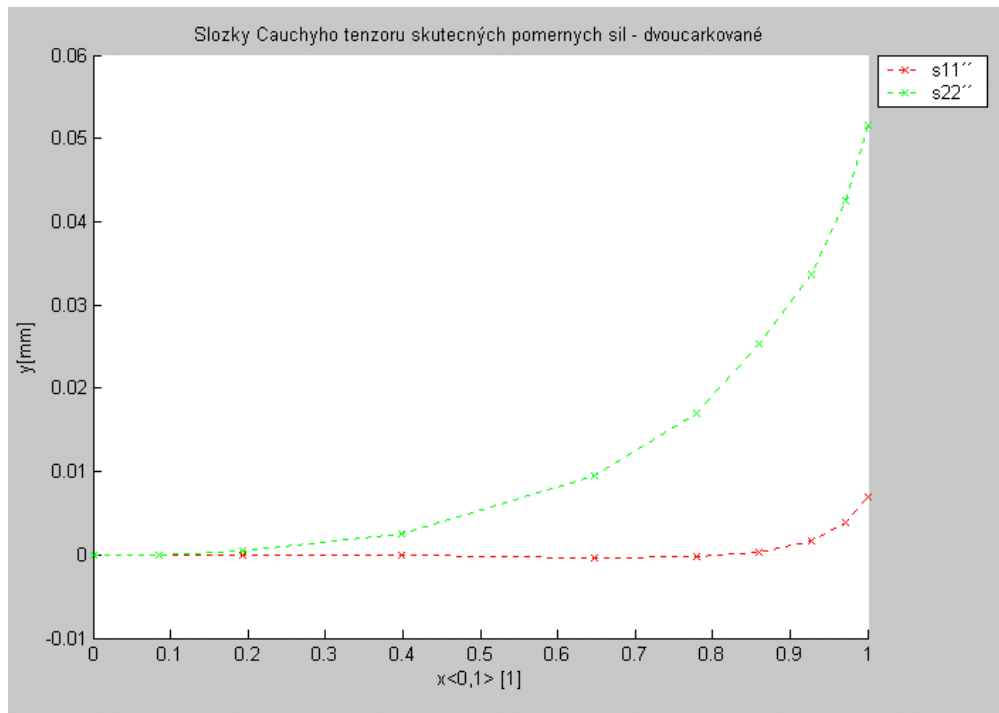
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



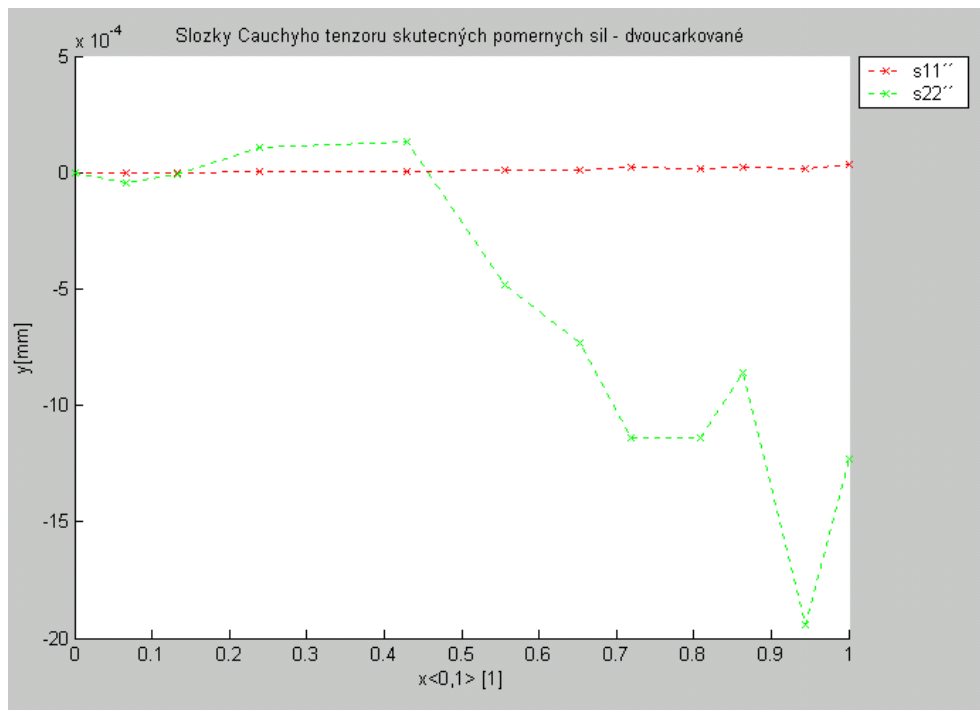
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

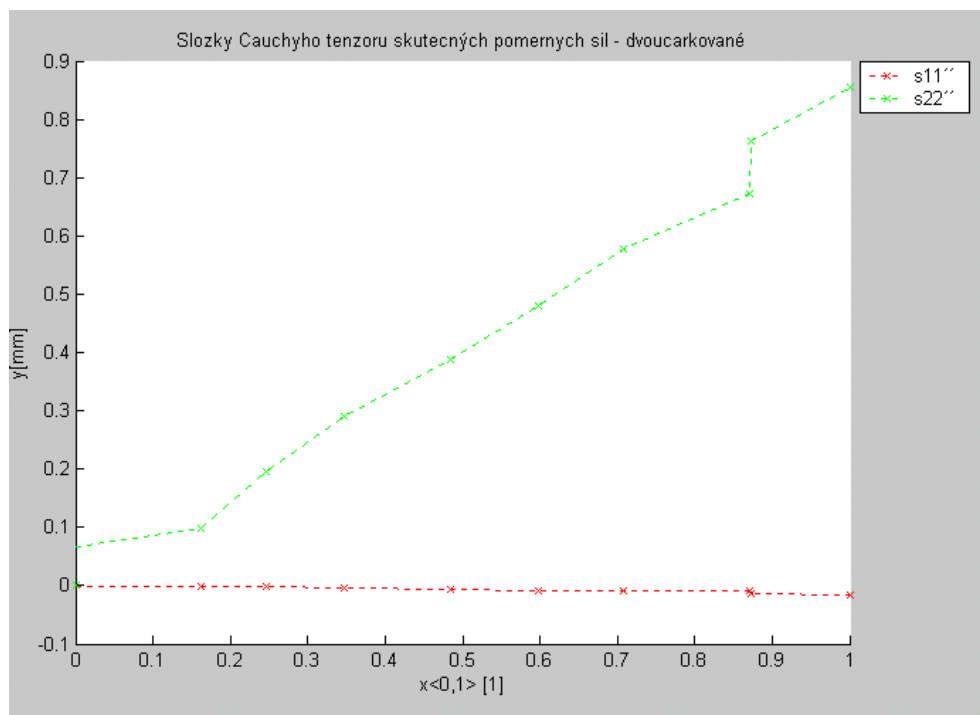


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

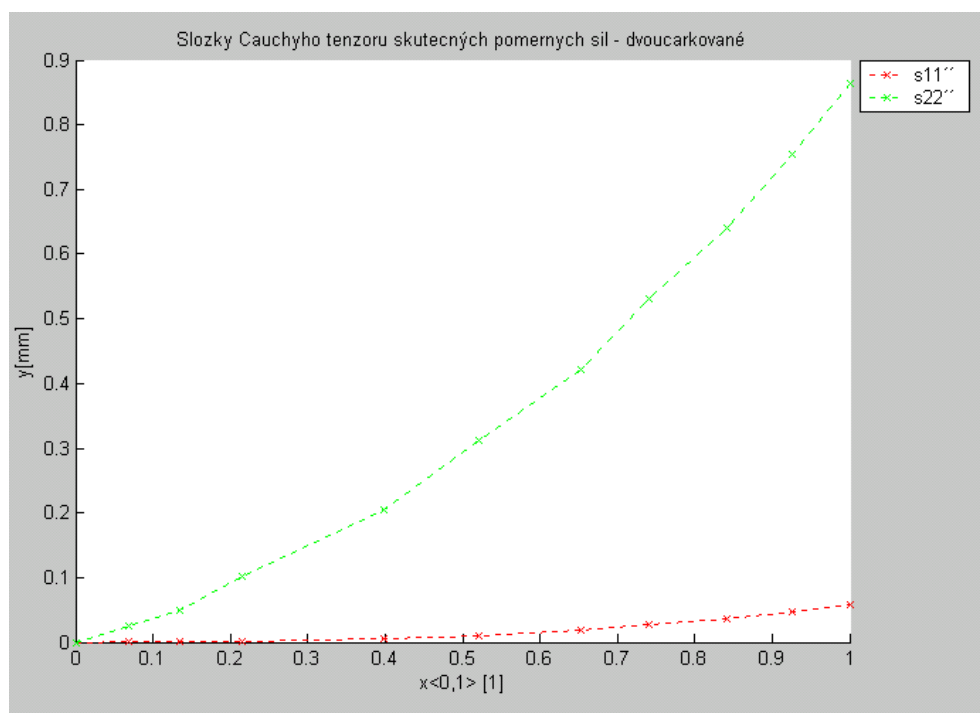


Biaxiální namáhání

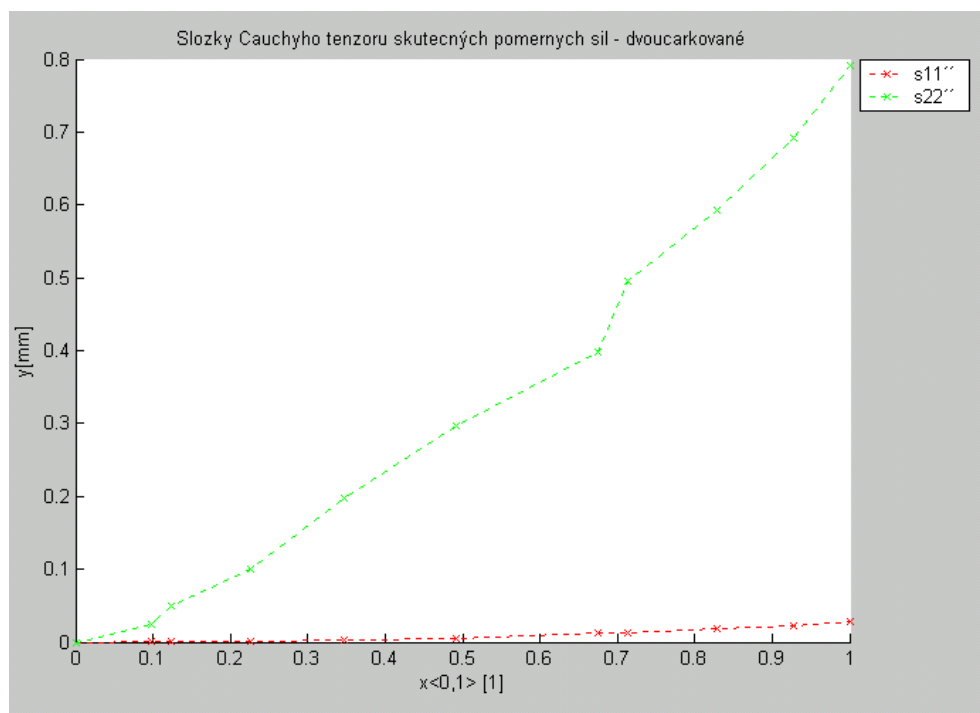
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



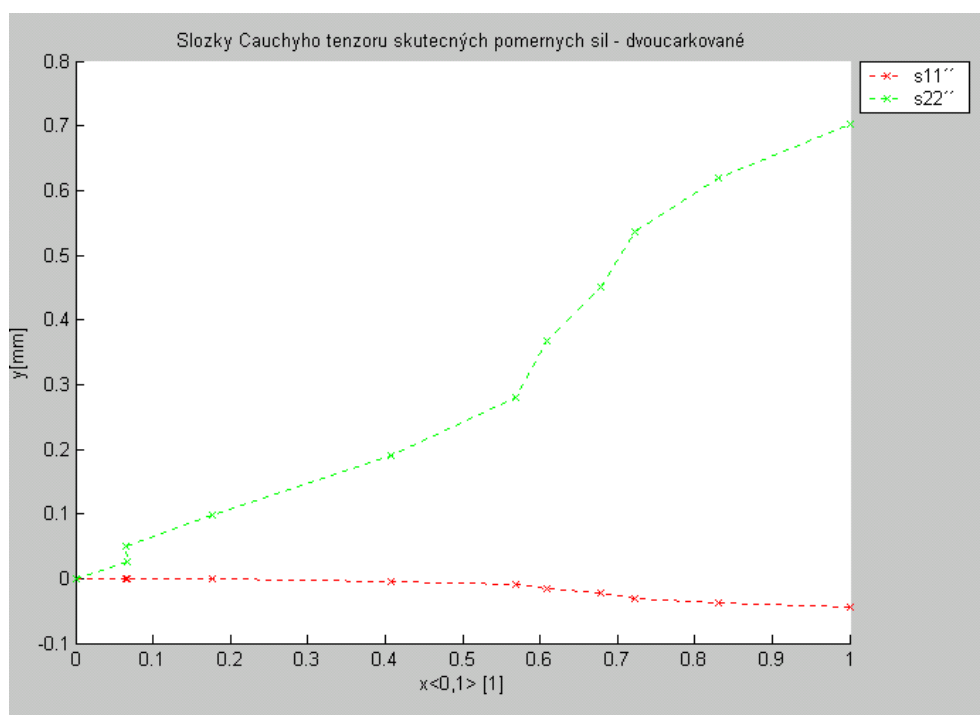
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



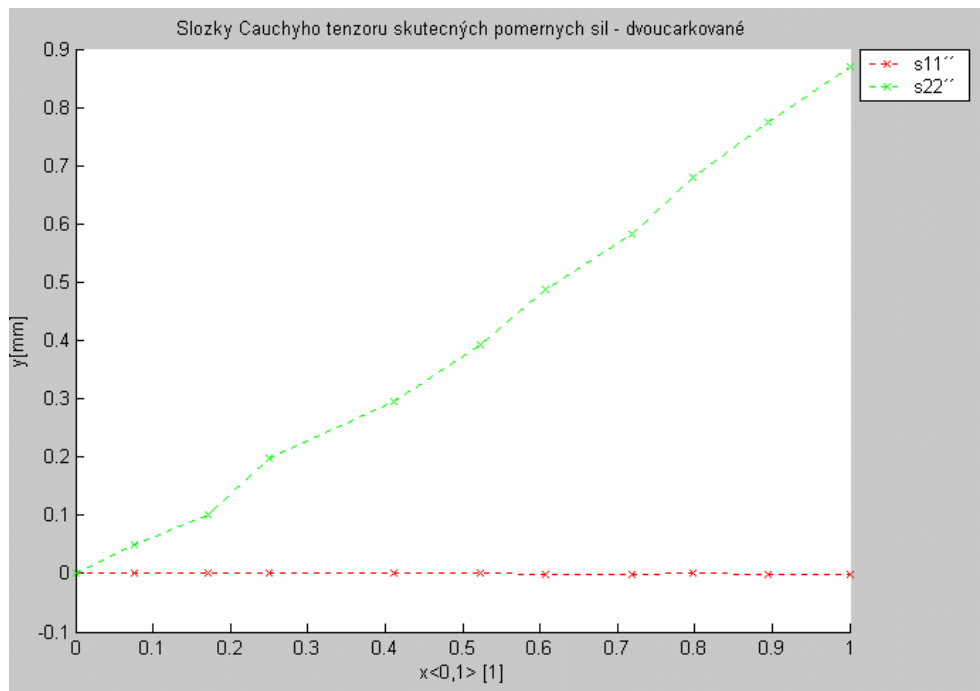
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

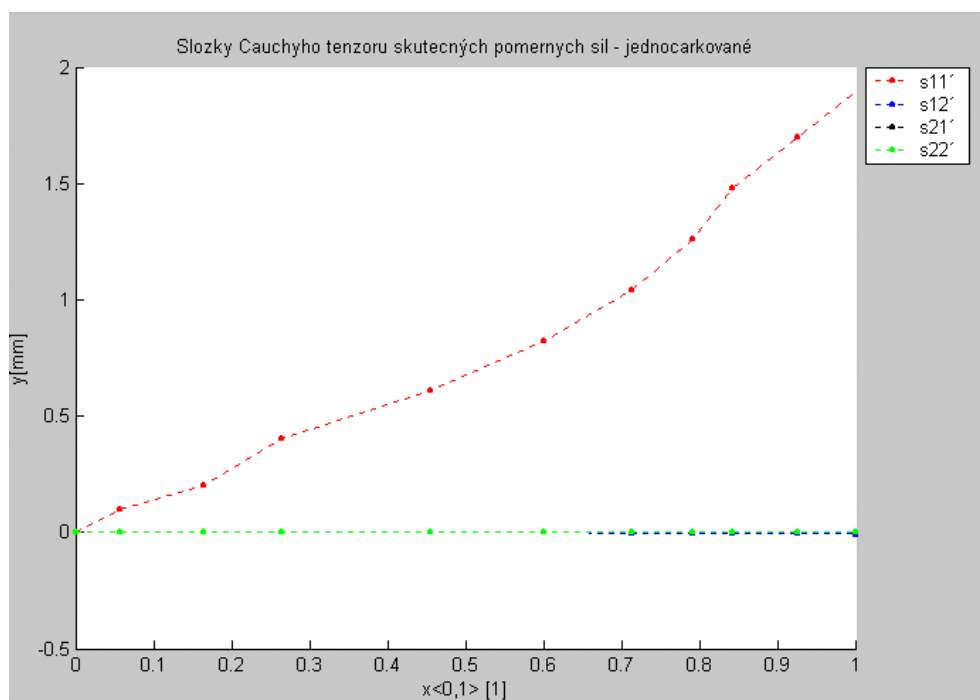


Příloha 9

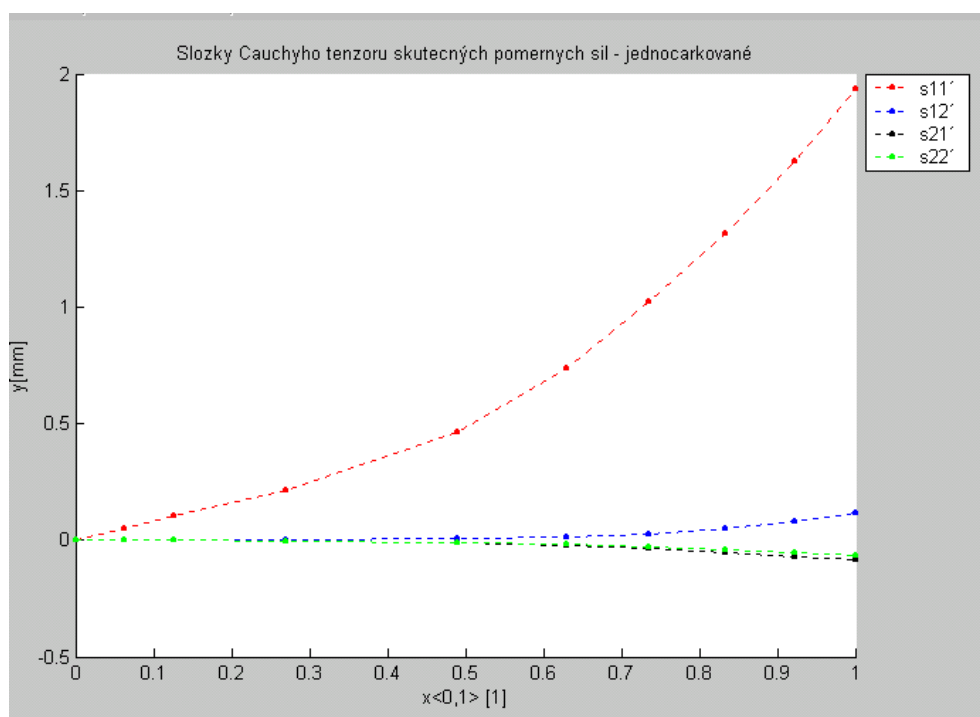
**Grafy složek Cauchyho tenzoru poměrných sil -
jednočárkované**

Uniaxiální namáhání

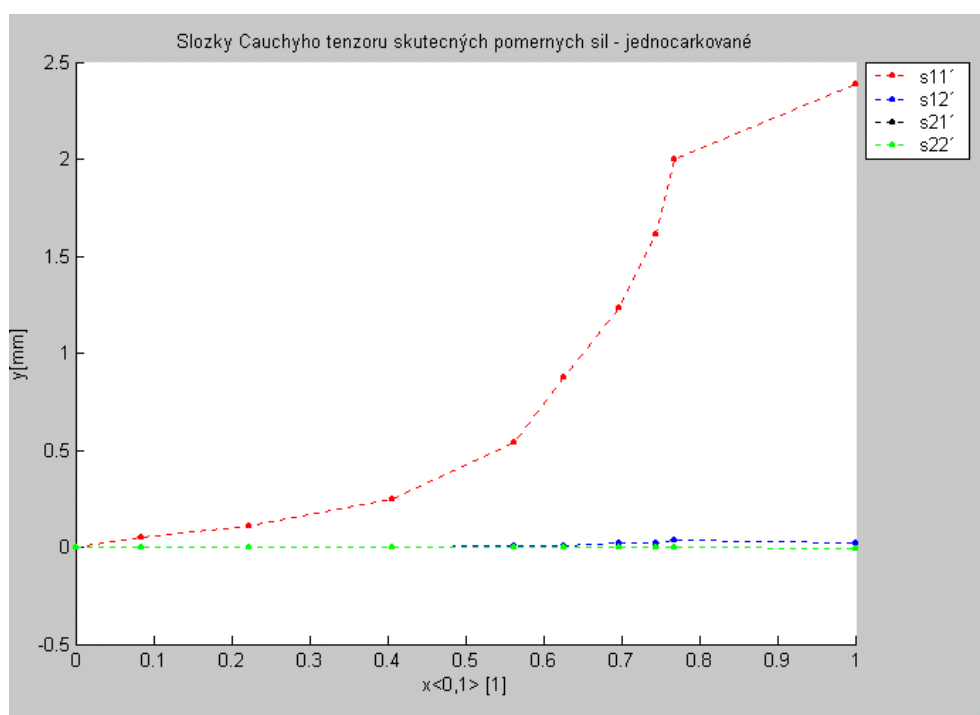
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



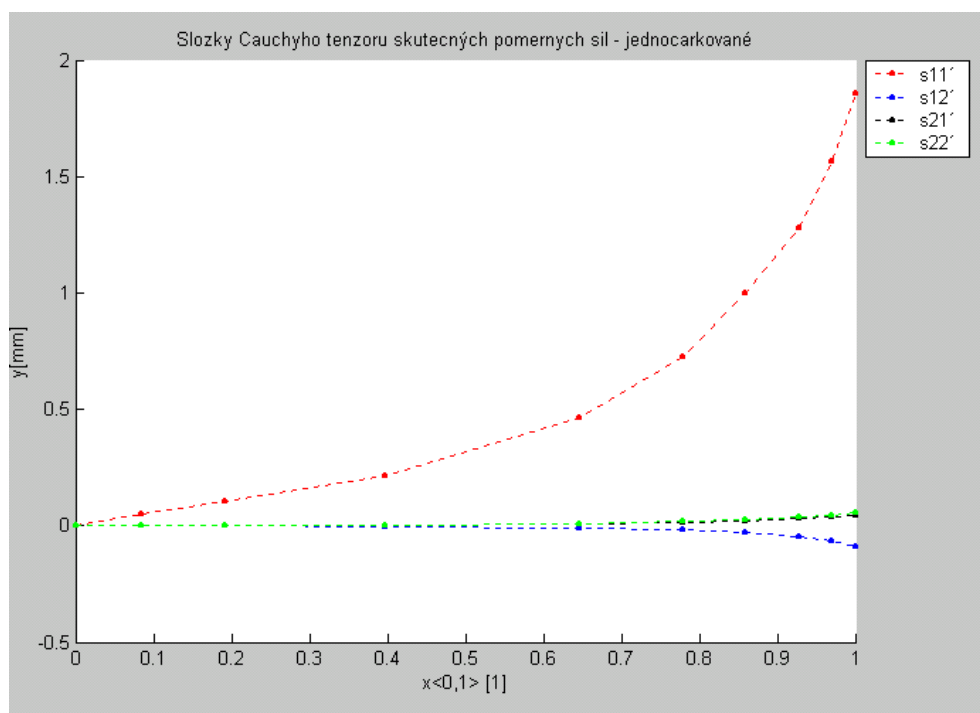
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



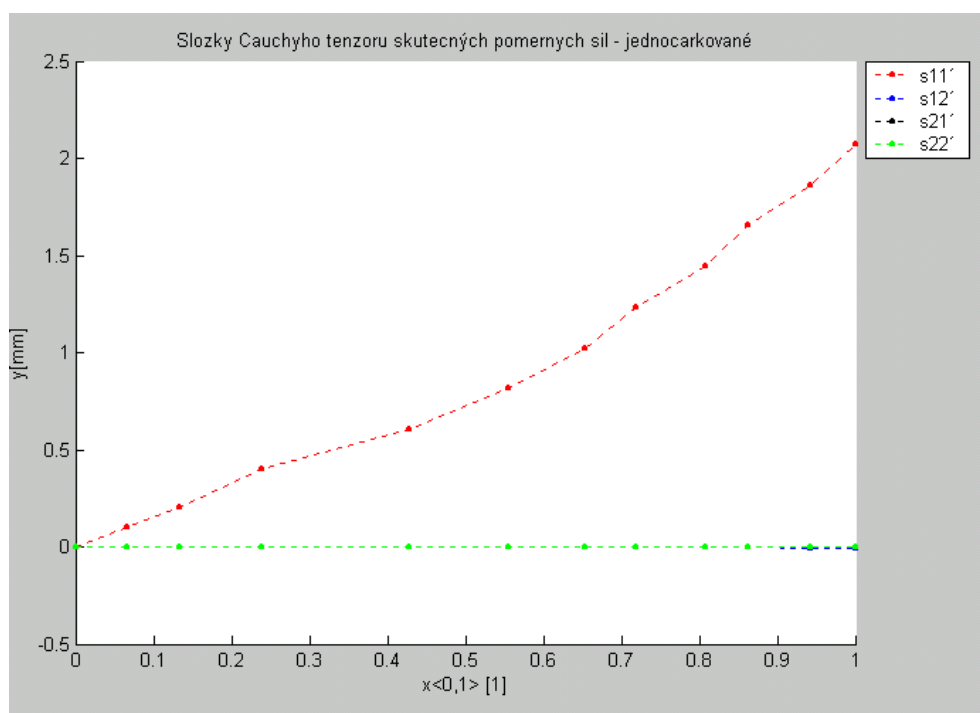
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

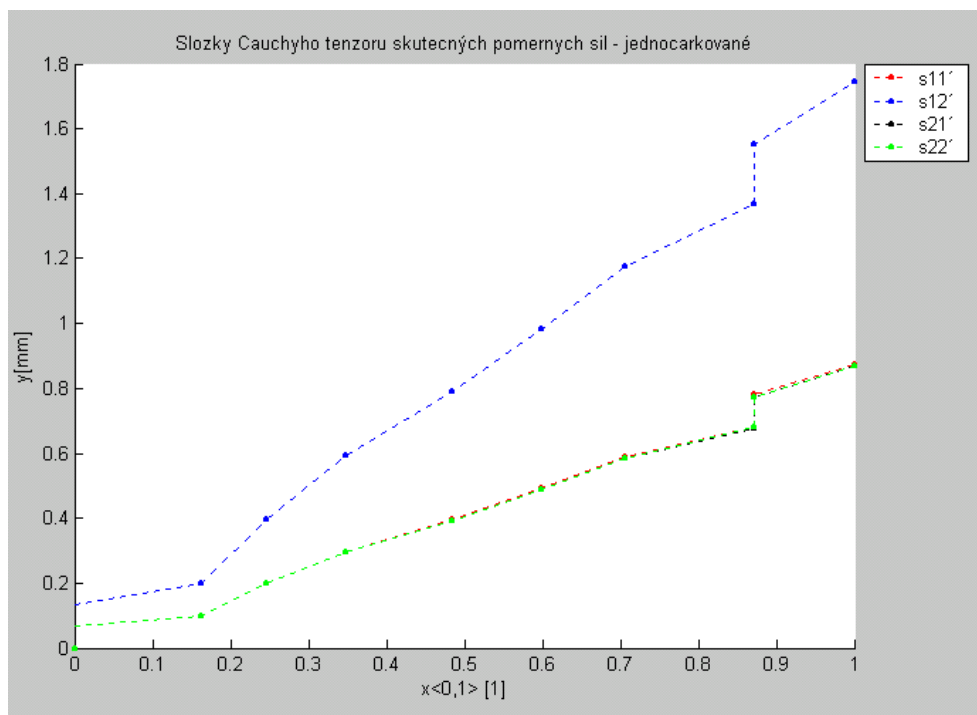


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

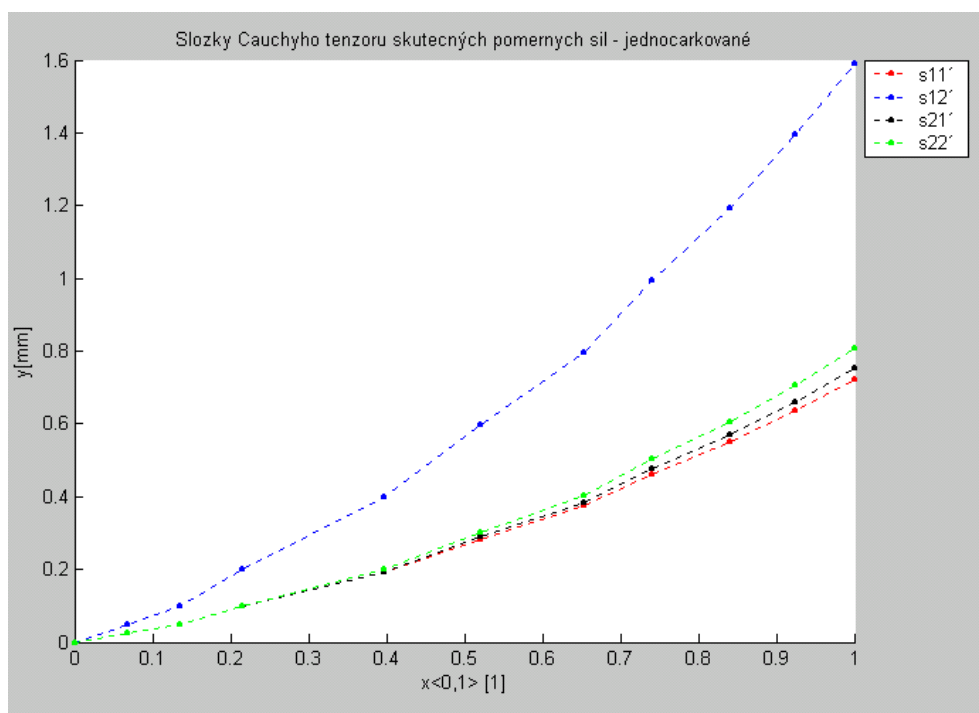


Biaxiální namáhání

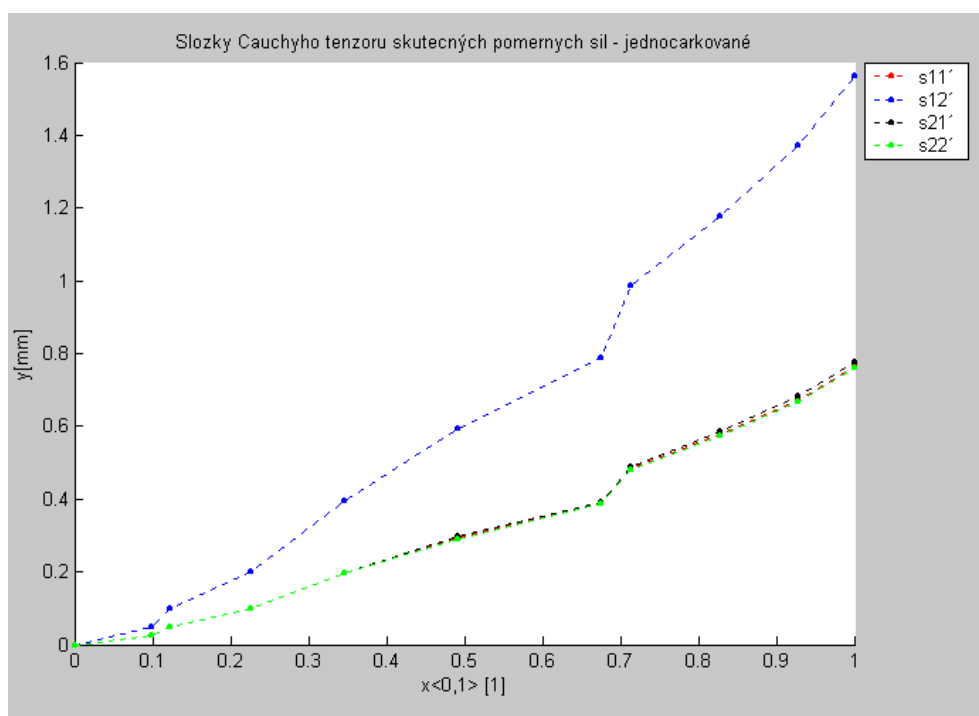
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



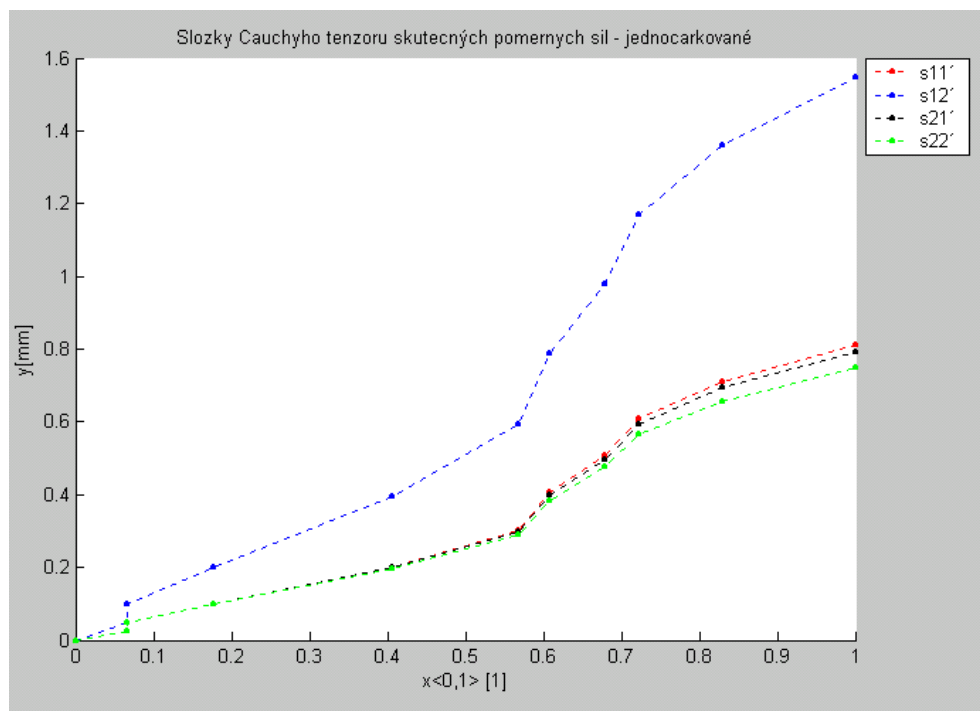
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



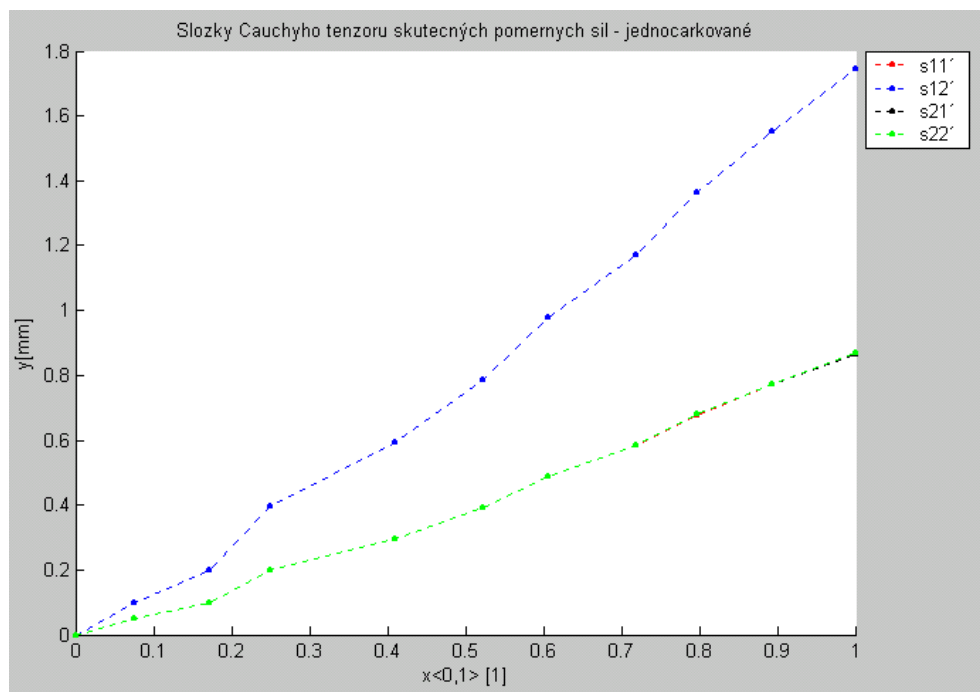
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



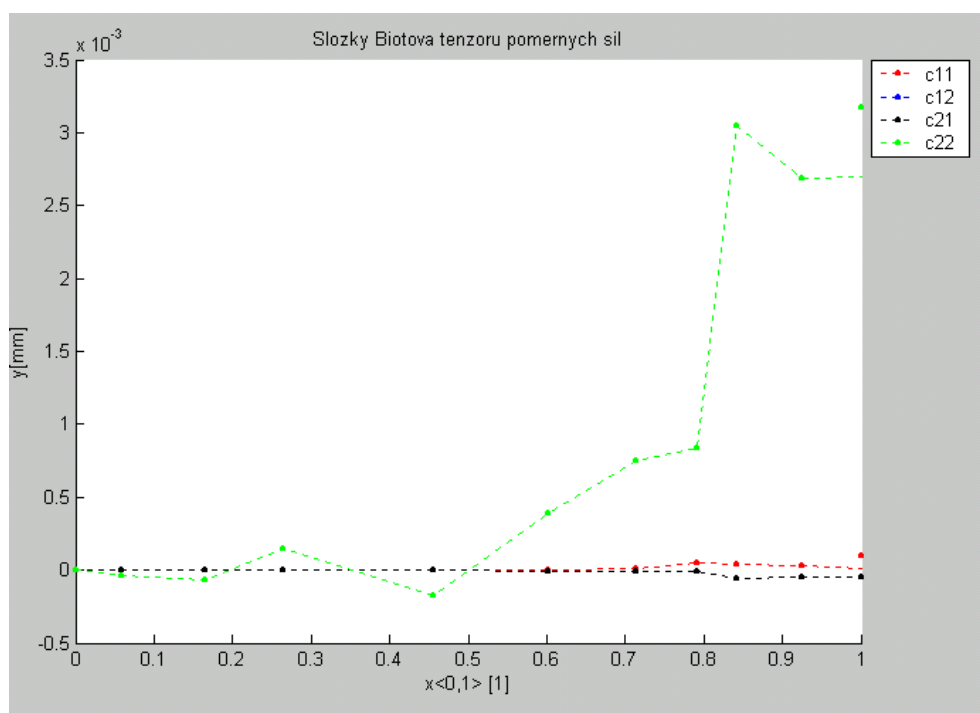
Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°



Příloha 10

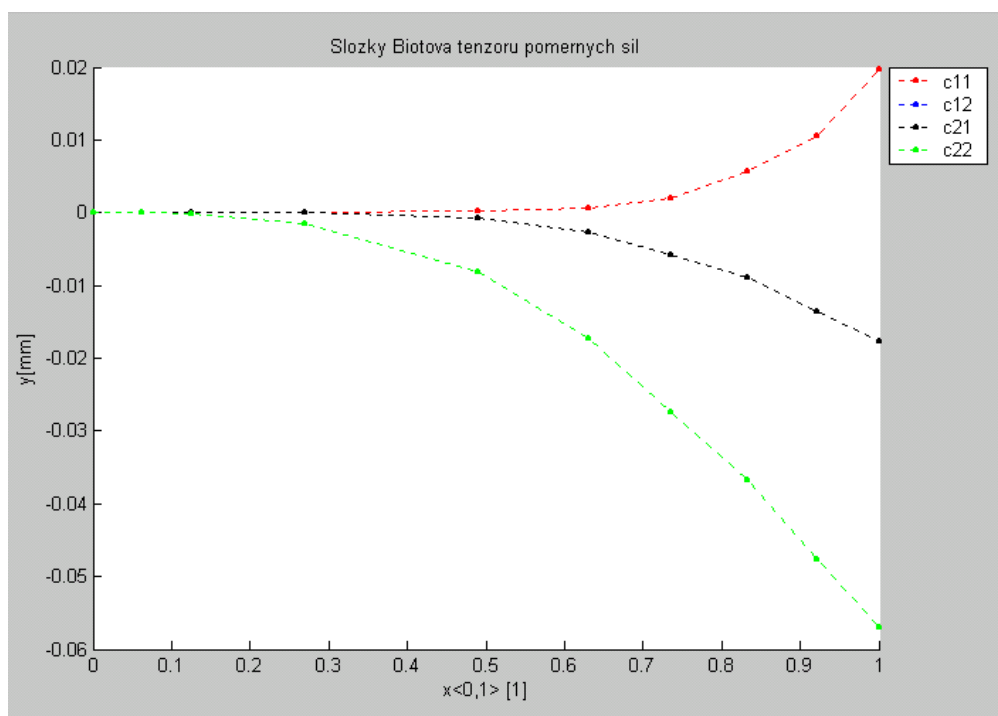
Grafy složek Biotova tenzoru poměrných sil

Uniaxiální namáhání

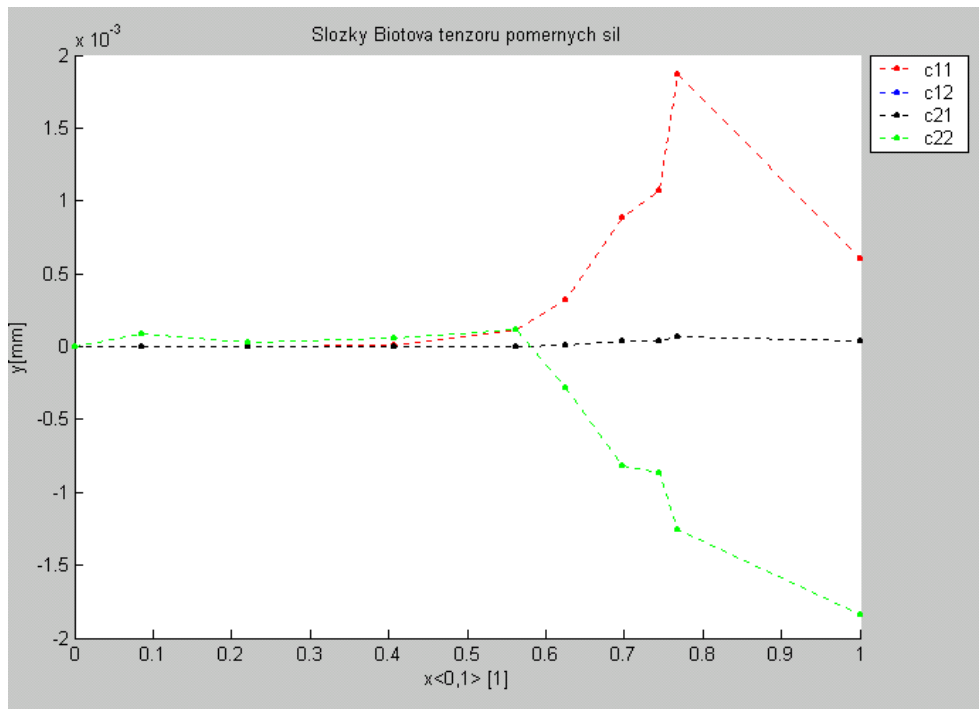


Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově

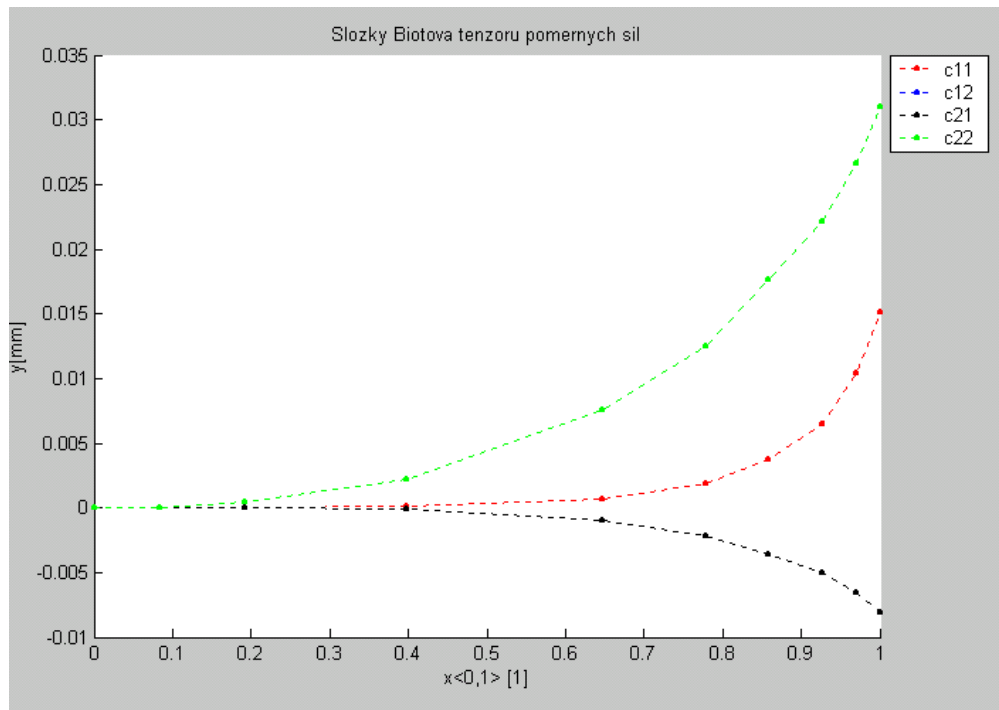
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



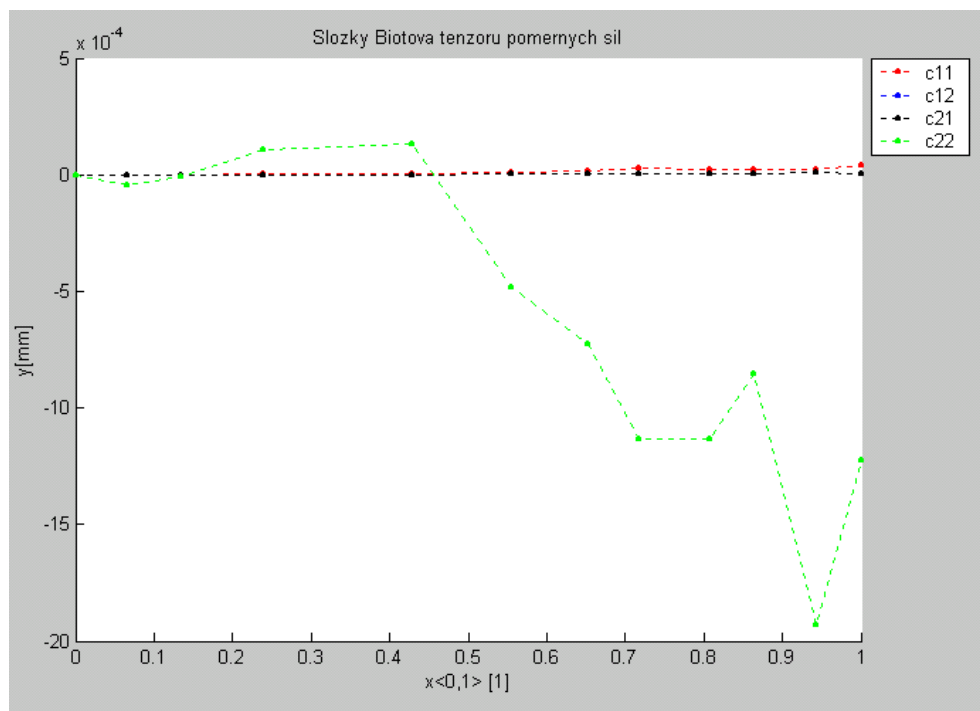
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

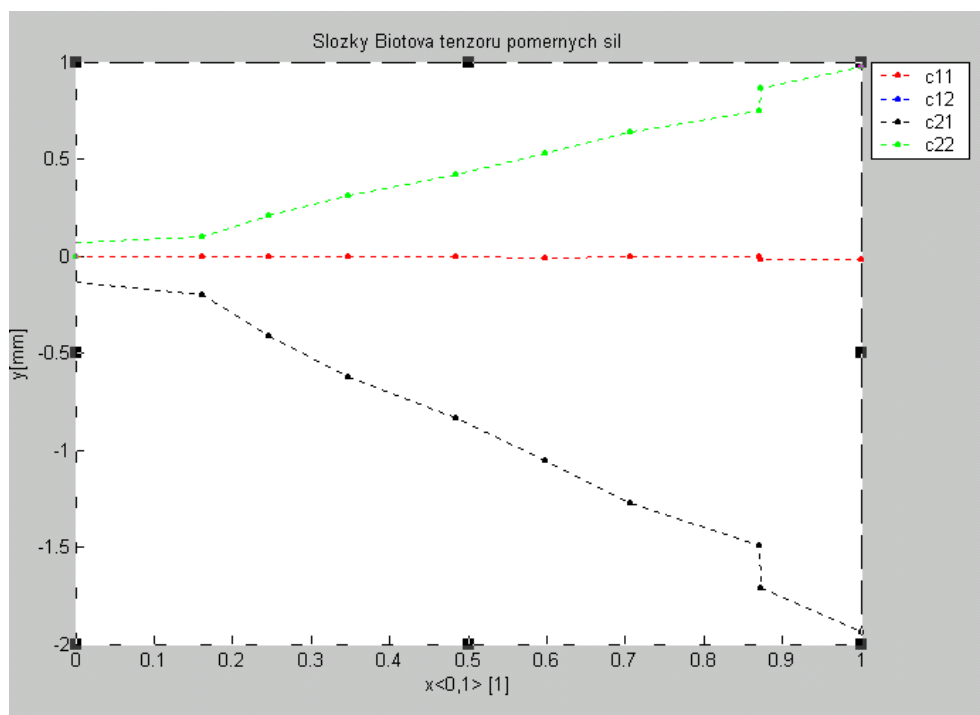


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

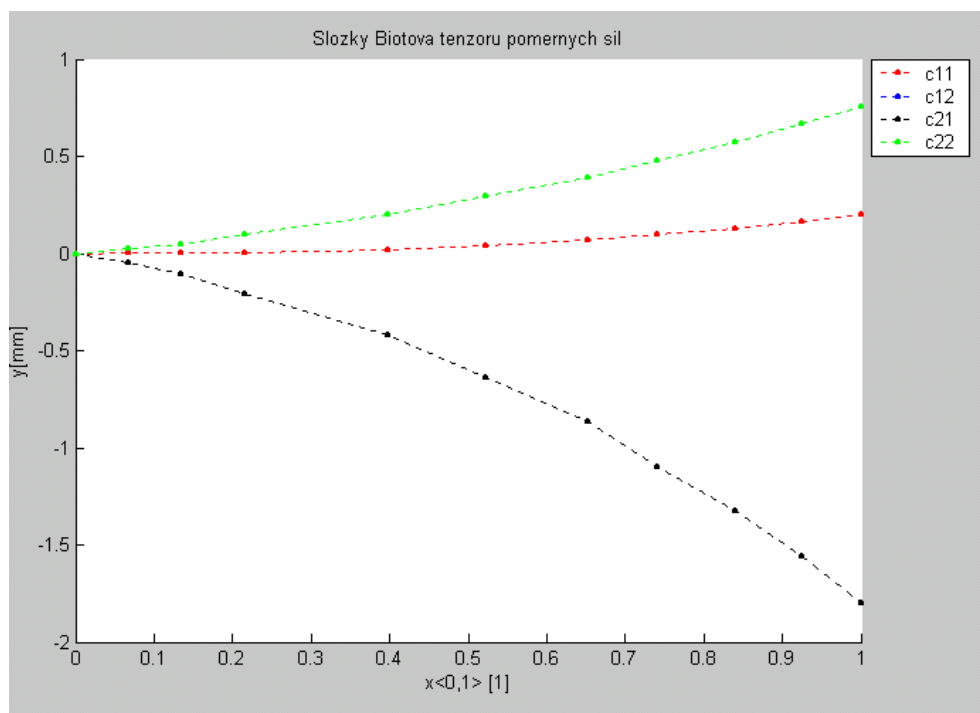


Biaksiální namáhání

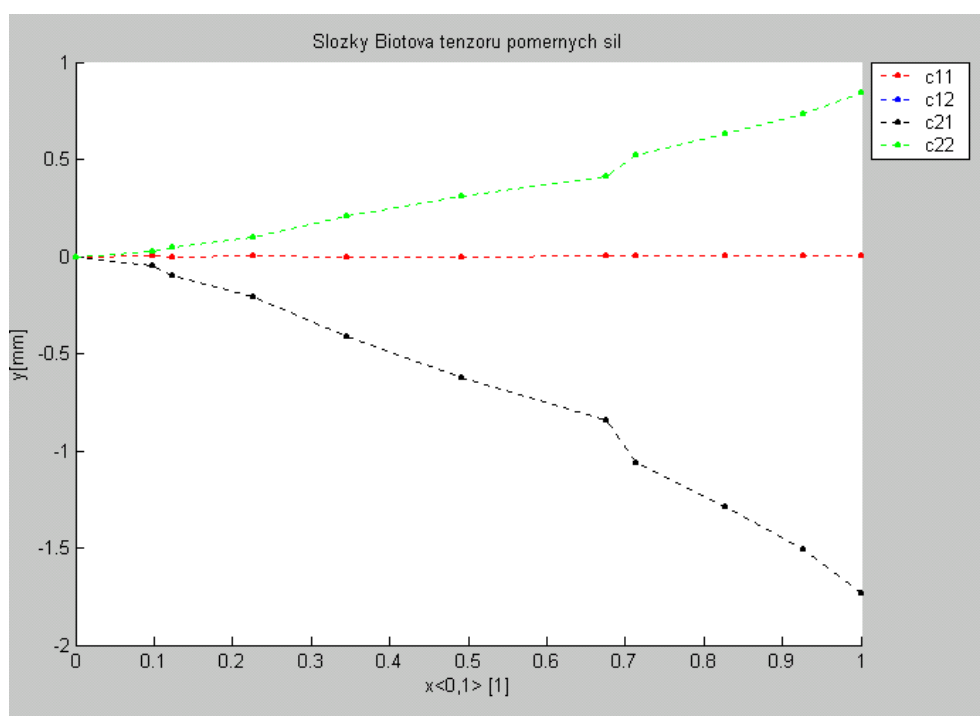
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



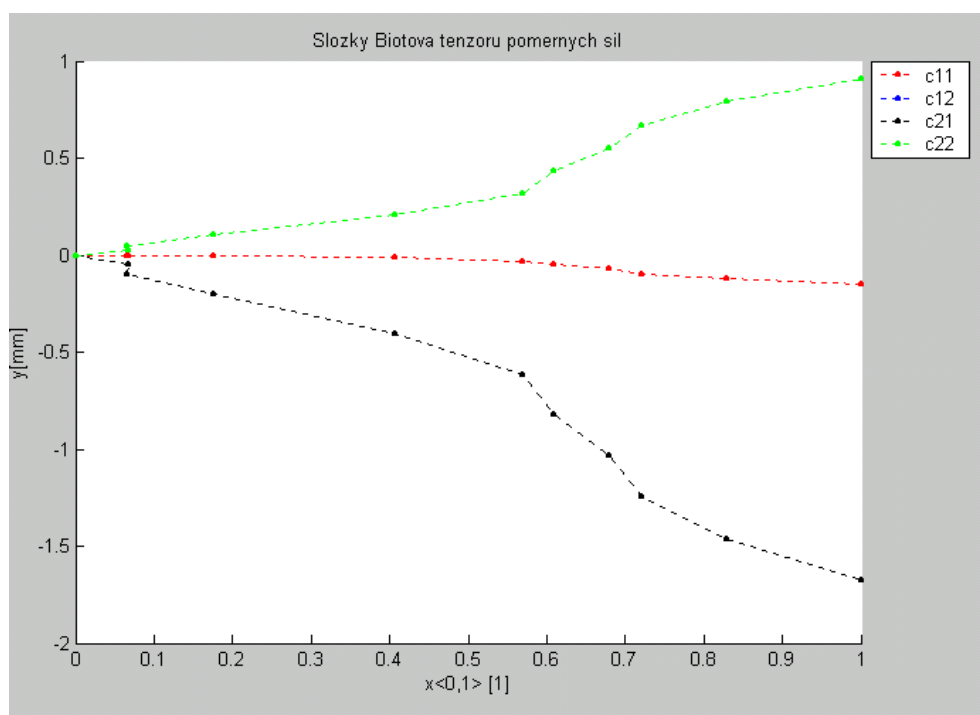
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



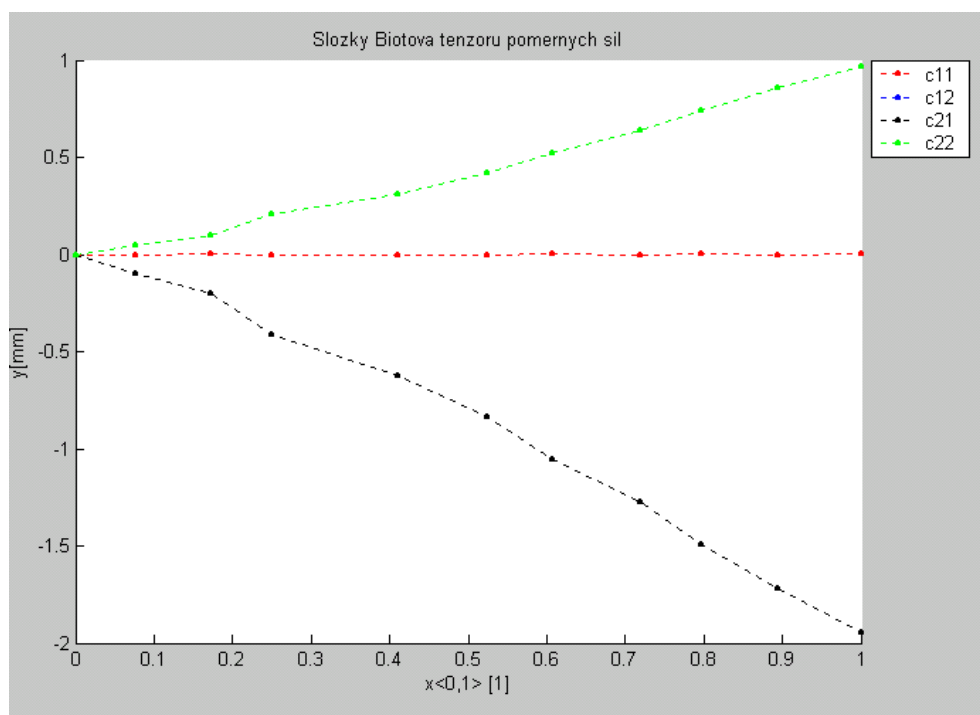
Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

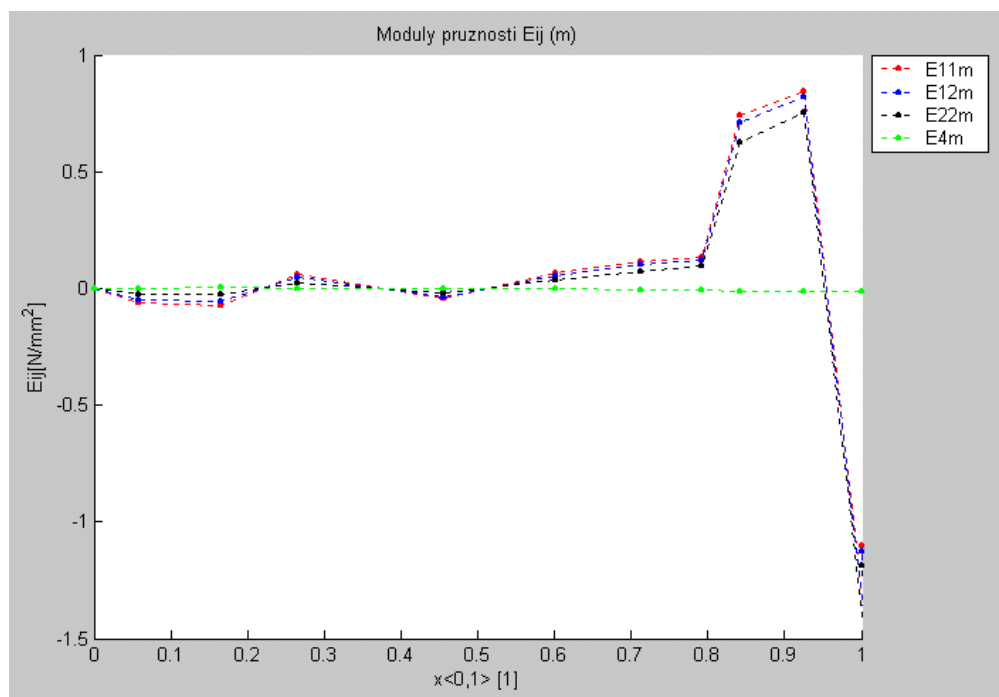


Příloha 11

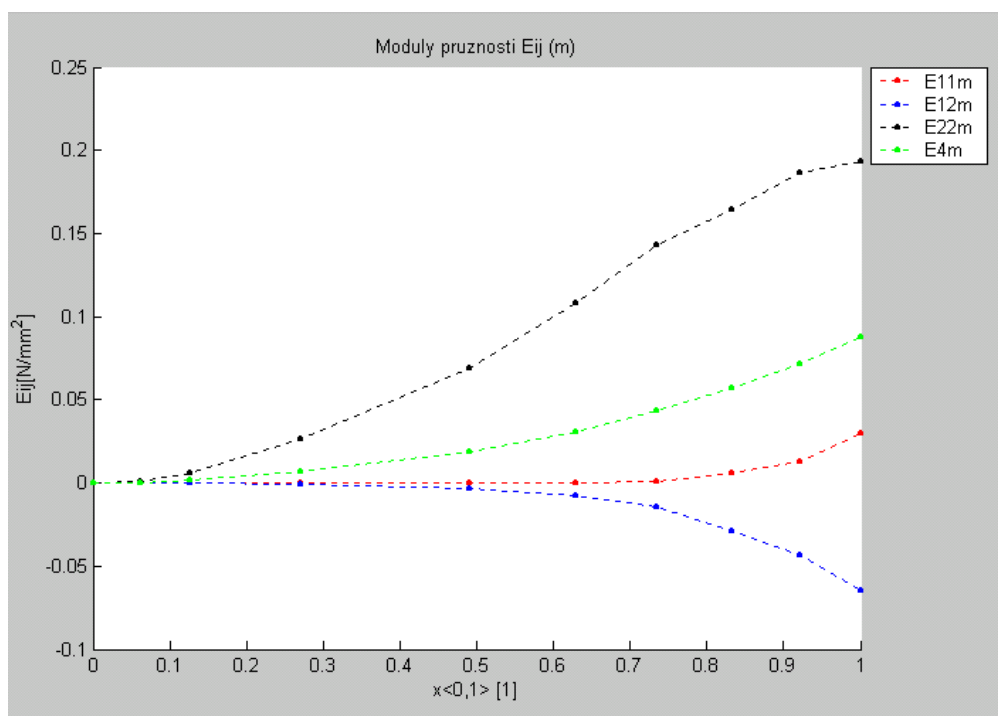
Grafy modulů pružnosti

Uniaxiální namáhání

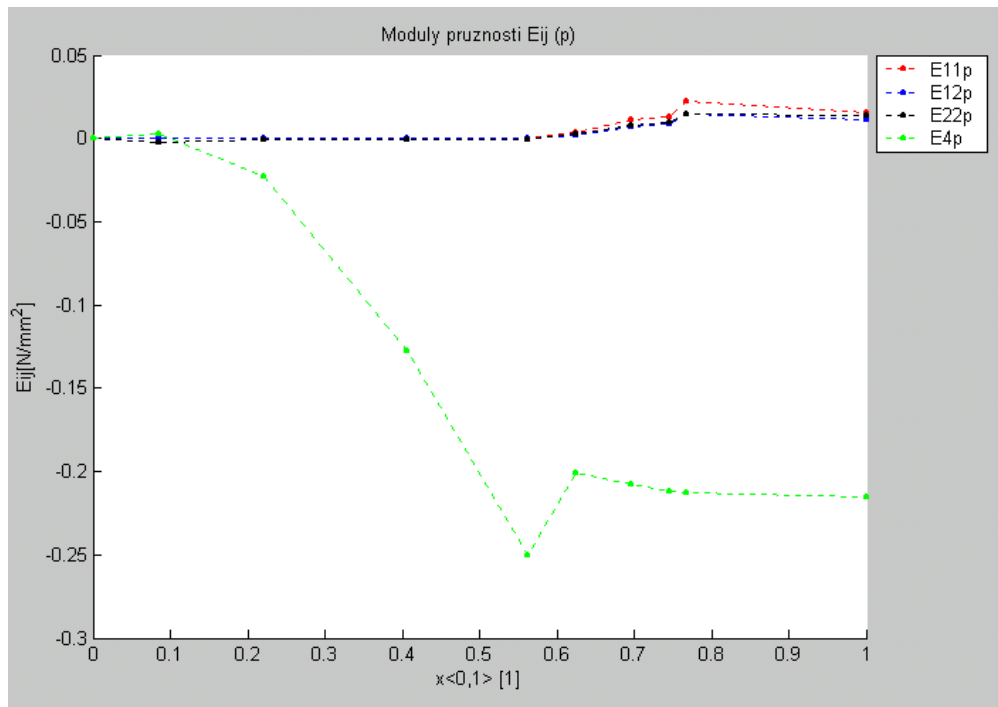
Graf 1 – zatěžování pod úhlem 0° - po osnově



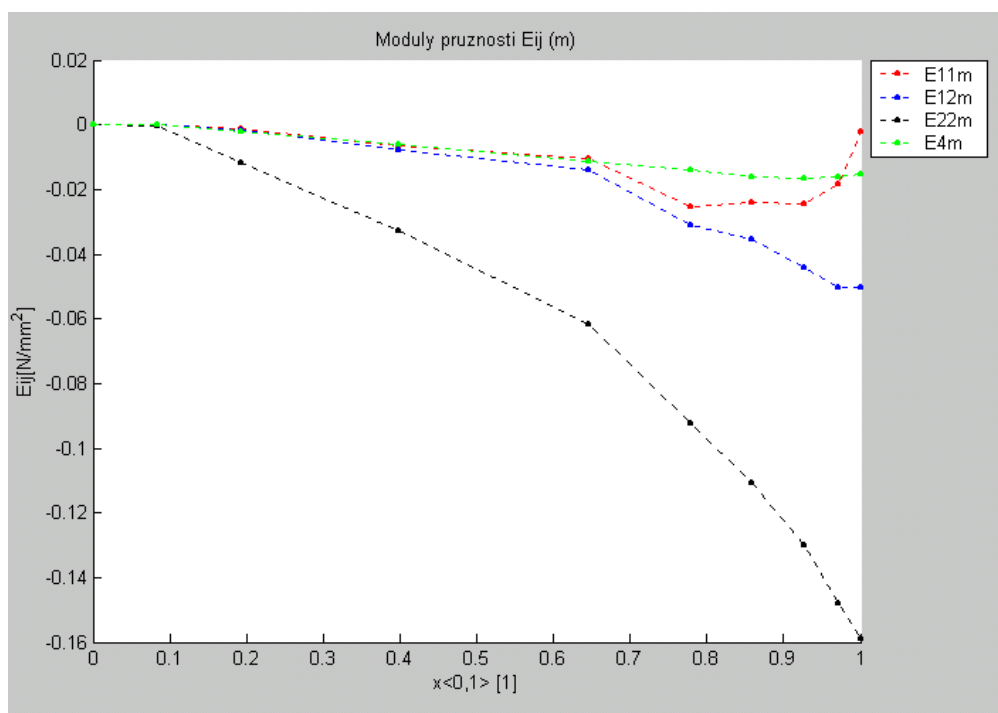
Graf 2 – zatěžování pod úhlem 30°



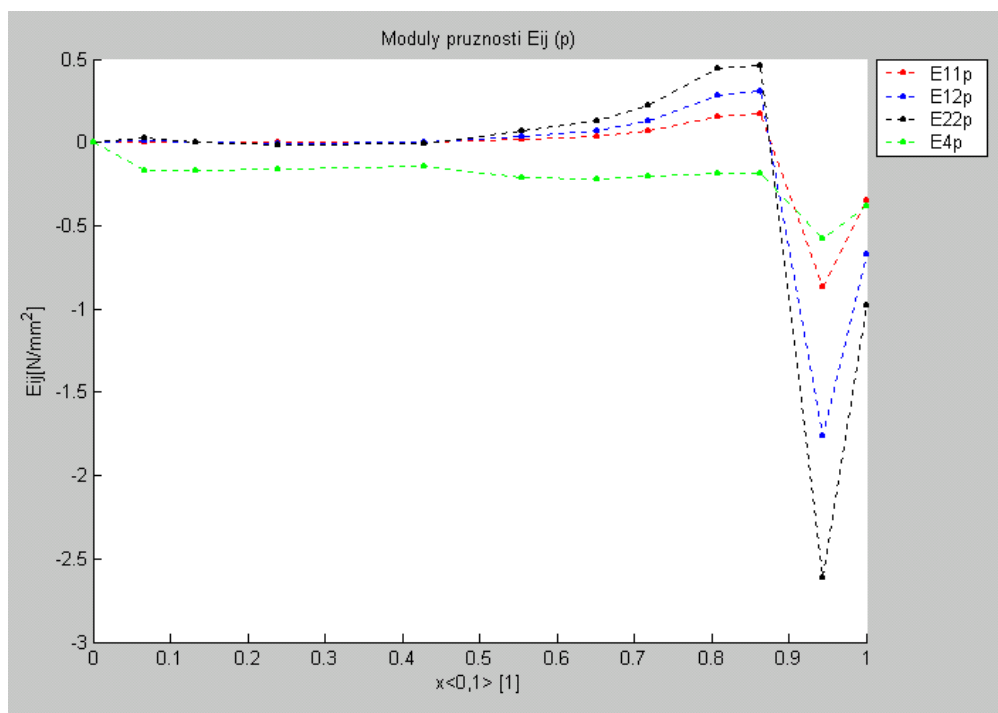
Graf 3 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 4 – zatěžování pod úhlem 60°

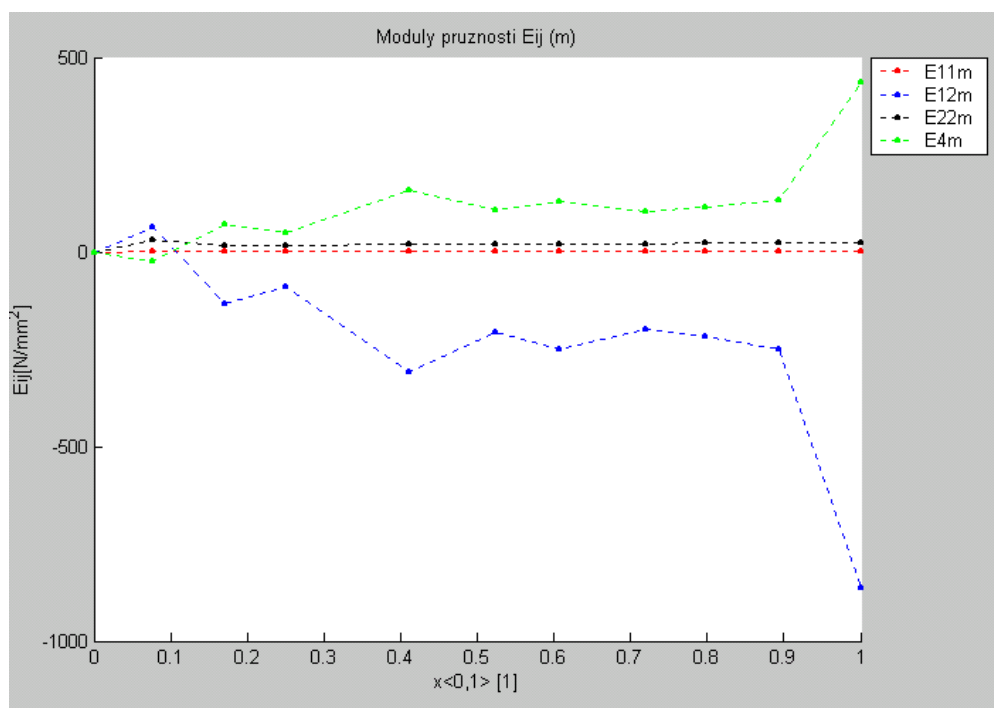


Graf 5 – zatěžování pod úhlem 90°

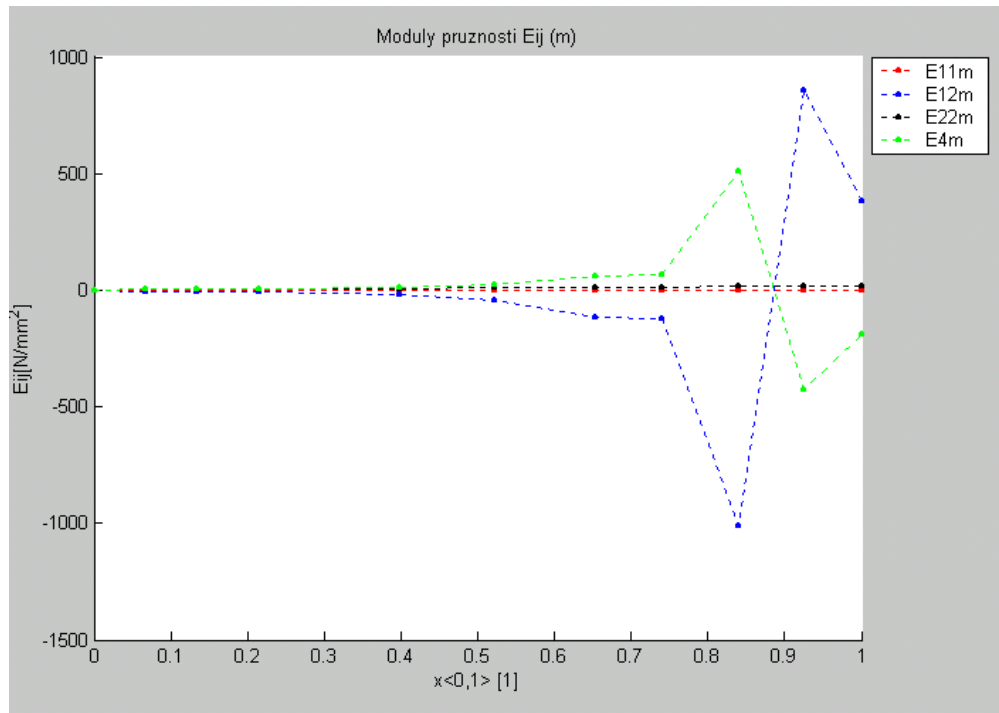


Biaxiální namáhání

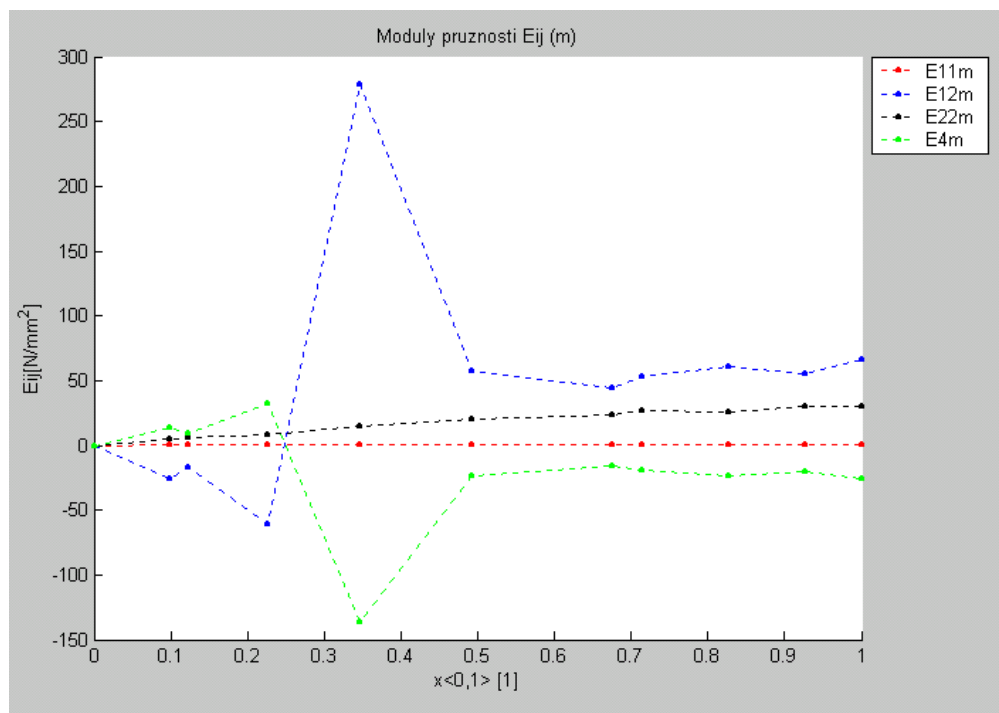
Graf 6 – zatěžování pod úhlem 0°



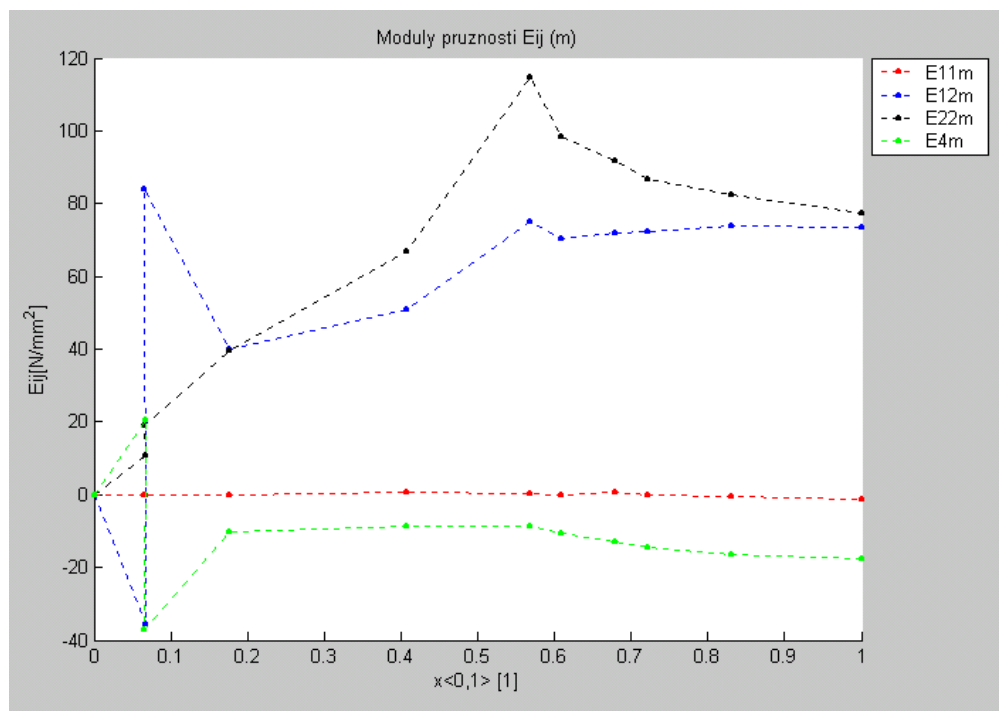
Graf 7 – zatěžování pod úhlem 30°



Graf 8 – zatěžování pod úhlem 45°



Graf 9 – zatěžování pod úhlem 60°



Graf 10 – zatěžování pod úhlem 90°

